



الدليل العملي

لاختبارات التربة



الدكتور

احمد عثمان رفه



>

مكتبة الحبر الإلكتروني

مكتبة العرب الحصرية

الدليل العملي لاختبارات التربة



الطبعة الأولى

2020م

المملكة الأردنية الهاشمية

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية

2019 / /

رقم التصنيف: 631.4

عنوان الكتاب: الدليل العملي لاختبارات التربة/ أحمد عثمان رفة

/عمان: دار الجنان، 2019 () ص

الواصفات: // تحليل التربة/ ابحاث التربة/ علوم التربة

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبر هذا

المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية او أي جهة حكومية اخرى.

(ردمك) - - 649 - 9957 - ISBN 978

حقوق الطبع محفوظة © 2017م. لا يُسمح بإعادة نشر هذا الكتاب أو أي جزء منه بأي شكل من الأشكال أو حفظه ونسخه في أي نظام ميكانيكي أو إلكتروني يمكن من استرجاع الكتاب أو أي جزء منه. ولا يُسمح باقتباس أي جزء من الكتاب أو ترجمته إلى أي لغة أخرى دون الحصول على إذن خطي مسبق من الناشر.

دار الجنان للنشر والتوزيع

المملكة الأردنية الهاشمية - عمان - العبدلي - شارع الملك حسين

مقابل البريد الاردني الممتاز- مجمع جوهرة القدس التجاري - ط (L)

هاتف: 00962 6 4659891 هاتف: 00962795747460

E-mail: dar_jenan@yahoo.com

E-mail: daraljenanbook@gmail.com

www.daraljenan.com

Soil Testing laboratory manual

الدليل العملي
لاختبارات التربة

الدكتور
احمد عثمان رفه الجماعي



الفصل الاول

تجربة اختبار المحتوى المائي (الرطوبة) للتربة

Water Content Test

مقدمة: Introduction

تحتوي التربة الطبيعية على نسبة من الرطوبة المتكونة من كمية الماء الموجود في الفراغات والمسامات بين حبيبات التربة، ويمكن تحديد وحساب هذه النسبة من الرطوبة بالتخلص منها عن طريق التجفيف بالفرن، ويعتبر المحتوى المائي من أهم الدلائل (Indices) المستخدمة لتحديد العلاقة بين السلوك والخواص الهندسية لعدة أنواع من التربة، فمثلاً يعتمد قوام التربة الحبيبية الناعمة (fine-grained soil) إلى حد كبير على المحتوى المائي (الرطوبة) الموجود بها، كما يستخدم محتوى الرطوبة لتحديد العلاقة بين الهواء والماء والمواد الصلبة المكونة لحجم عينة من التربة. ومن أشهر الطرق المستخدمة لتحديد محتوى الرطوبة (Water content) في التربة طريقة التجفيف حيث يتم تجفيف عدة عينات من التربة باستخدام طريقة التجفيف بالفرن (Oven-drying method) عند درجة حرارة من 105°C إلى 110°C ، ومن ثم حساب محتوى الرطوبة للتربة الذي يمثل بالفرق بين الكتلة الرطبة والكتلة الجافة من التربة كنسبة مئوية (%) من كتلة التربة الجافة.

تعريف: Definition

يعرف محتوى الرطوبة أو المحتوى المائي (w) للتربة بأنه النسبة المئوية (%) بين وزن الماء بفراغات ومسامات (Pore & voids) التربة أو ما يعرف بالماء الحر (Free water) إلى وزن كتلة التربة الصلبة الجافة وتحسب من العلاقة التالية:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (\%) \quad [1]$$

حيث:

w = نسبة محتوى الرطوبة

W_w = وزن الماء بالتربة

W_s = وزن التربة الجافة

وللحصول على نتائج افضل يجب أن تكون أقل وزن من عينة التربة حسب الجدول رقم

(1):

جدول رقم (1) الحد الأدنى المقترح لإجراء اختبار محتوى الرطوبة

وزن العينة (جرام. gm)	رقم المنخل حسب .USSieve No.	أكبر قطر للحبيبات (مم. Mm)
20	40	0.425
50	10	2.0
100	4	4.75
500	.3/8 in	9.5
2500	.3/4 in	19.0

الأجهزة والأدوات: Instruments and Tools

. فرن تجفيف بدرجة حرارة $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

. ميزان حساس بدرجة دقة 0.01 جم. في حالة وزن العينة في حدود 200 جرام ، أما إذا زاد

وزن العينة عن 200 جرام فيمكن استخدام ميزان حساس بدقته 0.1 جرام.

. مجموعة علب (cans) من الصفائح أو الألمنيوم بغطاء.

. صحن لخلط العينات، وملقط وواق من الحرارة لاستخراج العينات من الفرن.



شكل رقم (1) الاجهزة والادوات المستخدمة

طريقة الاختبار: Testing Procedure

. تنظيف علبة الاختبار من أي مواد عالقة والتأكد من خلوها من الرطوبة وترقيمها، ثم وزنها

مع الغطاء وليكون وزنها (W1).

. توضع عينة التربة الرطبة في العلبة، ثم يحدد وزن التربة والعلبة مع الغطاء، وليكن وزنها

(W2).

. بعد تحديد وزن عينة التربة الرطبة والعلبة، يتم وضعها في فرن التجفيف بدون الغطاء

ويثبت الغطاء العلبة من اسفل وتجفف العينة عند درجة حرارة تتراوح بين 110°C إلى

105°C ولمدة 24 ساعة.

. بعد مضي 24 ساعة، يتم التأكد من جفاف العينة، وباستخدام الملقط استخرج العلبة من الفرن وتترك حتى تبرد، وعلى نفس الميزان المستخدم سابقا قم بوزن العلبة مع الغطاء والتربة المجففة، وليكن وزنها (W3).

. كرر الخطوات السابقة من 1 إلى 4 حسب عدد العلب المتوفرة بحيث لا يقل عددها عن 3 علب.

الحسابات: Calculations

وبعد استكمال الخطوات السابقة فقرة (4) وتدوين النتائج بدقة في الجدول المعد لذلك والتأكد من دقتها يتم حساب النسبة المئوية للمحتوى المائي (الرطوبة) لعينة التربة والنتيجة كنسبة لوزن الماء إلى وزن التربة الجافة باستخدام العلاقات التالية:

1. وزن الماء بالتربة (W4) = (W2 - W3)

2. وزن التربة جافة = (W3 - W1)

3. وبذلك تكون نسبة الرطوبة w (%) :

$$w (\%) = \frac{(W2 - W3)}{(W3 - W1)} \times 100 \quad (\%) \quad [2]$$

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (\%) \quad [3]$$

حيث:

▪ W_w = وزن المحتوى المائي أو الرطوبة.

▪ W_s = وزن التربة الصلبة الجافة.

▪ $W1$ = وزن العلبة فارغ

▪ $W2$ = وزن العلبة والتربة الرطبة

▪ $W3$ = وزن العلبة والتربة الجافة

بعد استكمال حساب نسبة المحتوى المائي (الرطوبة) وتقرب النتائج لأقرب رقمين عشريين

(0.1 % أو 0.1) حسب وزن من عينة التربة التي م الاشارة اليها بالجدول رقم (1)، وستكمل

بقية البيانات وتدون بالجدول. (w %)

تحديد المحتوى المائي Determination of Water Content

جدول رقم (2) عينة افتراضية لاختبار التربة

رقم العملية: ----- التاريخ: -----

المشروع: ----- موقع المشروع: -----

رقم الجسة: ----- عمق العينة: -----

رقم العينة: ----- وصف التربة: ----- اسم الفاحص: -----

رقم العينة			العنصر
3	2	1	
20.08	20.02	20.10	وزن العلبة فارغة (W1) جم.

44.60	44.50	43.50	وزن العربة والتربة الرطبة (W2) جم.
41.20	41.20	42.10	وزن العربة والتربة الجافة (W3) جم.
3.40	3.30	3.40	وزن الماء (W4) حم. = (W2-W3)
21.12	21.18	22.00	وزن التربة الجافة (جم) = (W3-W1)
16.09	15.58	15.45	المحتوى المائي % (w) = $\frac{W2-W3}{W3-W1} \times 100$

متوسط المحتوى المائي = 15.71 %

ملاحظة: القيم والأرقام المدرجة بالجدول هي لغرض لتوضيح الحسابات فقط.

التقرير: Report

عند إعداد التقرير وجدول البيانات يجب أن يحتوي على المعلومات والبيانات التالية:

سم المشروع وموقعه

تحديد مكان الاختبار واسم الفني الذي أجرى الاختبار (الفاحص).

موقع الجسة، ورقمها، ووصف عينة التربة.

ذكر المحتوى المائي مقرباً لأقرب رقمين عشريين.

دوين آدا كانت العينة تحتوي على أكثر من نوع من التربة كنتيجة لوجود طبقات مثلاً.

مرجع التجربة، وتوضيح إي إجراءات تمت عند الاختبار كاستبعاد كمية أو تدرج معين من العينة.

دوين إي ملاحظات أو مشاهدات خلال إجراء التجربة.

الفصل الثاني

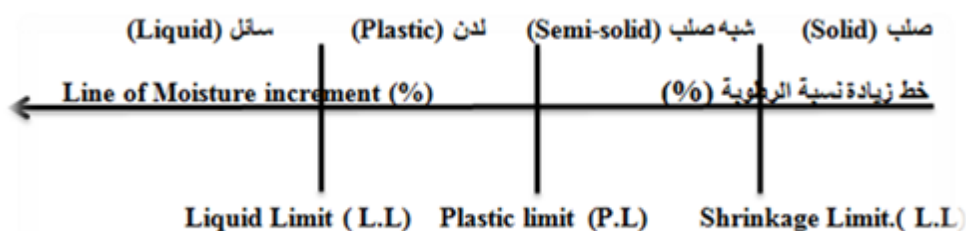
اختبار حد السيولة للتربة

Liquid Limit Test

مقدمة: Introduction

تختلف الخواص الطبيعية (Physical properties) للتربة الحبيبية الناعمة باختلاف محتوى المواد الطينية والمحتوى المائي، حيث تتغير حالة وسلوك المادة الطينية من الحالة السائلة الى الحالة اللدنة ومنها الى الحالة الصلبة بتغير محتوى الرطوبة فيها، فالتربة المتماسكة (Cohesive soil) عندما تخلط مع كمية وافرة من الماء تتحول الى حد ما حالة السيولة وتسري كأنها سائل لزج (Viscous liquid) وبنقص نسبة الماء تتحول من حالة السيولة الى الحالة اللدنة (Plastic state) ومع زيادة نقص نسبة الماء تتحول التربة من الحالة اللدنة الى الحالة شبه الصلبة (Semi-solid)، ثم الى الحالة الصلبة (Solid)، شكل رقم (1)، ولذا فإن المحتوى المائي (%) الذي تتغير عنده حالة التربة المتماسكة من حالة السيولة الى حالة اللدنة يعرف بحد السيولة للتربة (Liquid limit)، وبالمثل فإن نسبة الماء (%) التي تتحول عندها التربة من حالة اللدنة الى الحالة شبه الصلبة والصلبة (Semi-solid & Solid state)، تعرف على التوالي بحد اللدنة (Plastic limit) وحد التشقق (Shrinkage limit)، وتعرف هذه الحدود بحدود

قوام التربة أو ما يعرف بحدود أتربرج (Atterberg limits)، والغرض من هذه التجربة هو تحديد حد السيولة (Liquid limit) للتربة الحبيبية الناعمة (fine-grained soil) باستخدام جهاز كازاجراند (Cassagrande Instrument) لعدد من المحاولات لا تقل عن أربعة، ثم رسم منحنى الانسياب (Flow curve) ومن ثم تحديد محتوى الرطوبة الذي يمثل القيمة المناظرة لعدد 25 ضربة.



شكل رقم (1) حدود اتربرج (Atterberg Limits)

تعريف: Definition

يعرف حد السيولة (Liquid limit) بأنه المحتوى المائي (%) للتربة الناعمة التي عندها يلتحم نصف العينة ولمسافة حوالي نصف بوصه (13 مم) عبر شق في العينة تم تحديده مسبقا وتحت تأثير عدد 25 ضربة لصحن جهاز كازاجراند الذي يسقط سقوطا حرا من ارتفاع حوالي 10 مم وبمعدل دورتين لكل ثانية. وبشكل عام هو محتوى الرطوبة الذي تتغير فيه حالة التربة الناعمة من الحالة اللدنة (Plastic state) إلى الحالة السائلة (Liquid state).

الأجهزة والأدوات: Apparatus

جهاز كازاجراند (Cassagrande Instrument)، لقياس حد السيولة (L.L)

أداة قطع المقترحة (Grooving tool) من قبل الجمعية الأمريكية

ميزان لا تقل دقته عن 0.01 جم (Balance of sensitive up to 0.01 gm)



منخل رقم # 40 (No. 40 sieve / 0.425 mm)

قنينة ماء مقطر (Plastic squeezing bottle)

ملقاط أو أداة واقية من الحرارة. (Tongs and towels)

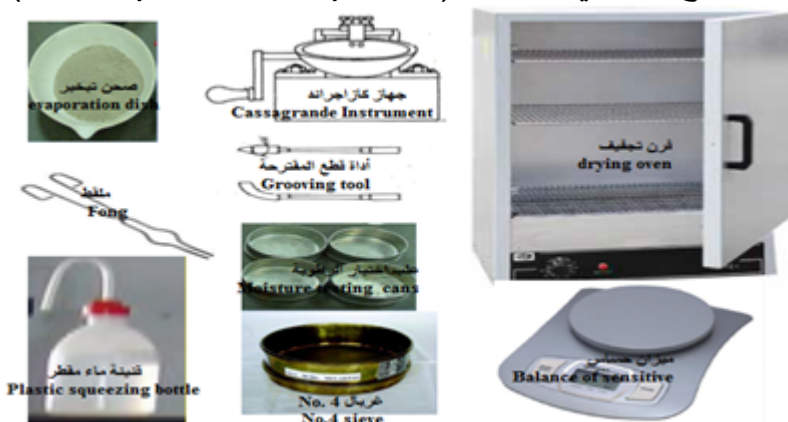
فرن تجفيف بدرجة حرارة $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (Drying oven)

صحن خلط وتجفيف (Porcelain evaporating dish)

■ ومجموعة علب من الصفائح أو الألمنيوم، (Moisture cans)

شكل رقم (2) جهاز كازاجراندي

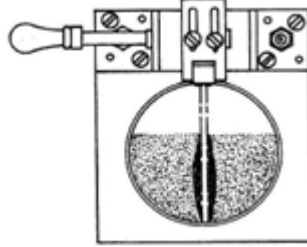
■ ولوح زجاجي، وسكين (Glass plate and spatula)



شكل رقم (3) الاجهزة والادوات المستعملة في الاختبارات

طريقة الاختبار: Testing Procedure

1. يتم تحديد وزن أربعة علب (Moisture cans) مع الغطاء وليكن (W1)
تأكد جيداً من معايرة ارتفاع مستوى الهبوط لكأس الاختبار ($\pm 2\text{mm}(10\text{mm})$ تقريباً) ويتم إجراء ذلك باستخدام الطرف الآخر من أداة القطع [شريحة المعايرة] الملحقة لجهاز كازاجراندا الشكل رقم (2).
3. خذ حوالي 100 جرام من التربة الجافة المارة من منخل رقم # 40 (0.425 mm) وتوضع في صحن الخلط ثم يضاف إليها كمية مناسبة من الماء المقطر وخلطها لتكوين عجينة متجانسة (Uniform paste) ذات قوام منتظم.



شكل رقم (4) يوضح تقسيم العجينة

4. ضع جزء من العينة المخلوطة في الوعاء (كأس الهبوط) بجهاز الاختبار ثم قم بتسوية وتنعيم سطح العينة باستخدام أداة المزج والتسوية بحيث يكون أكبر سمك للعينة الموضوعة عند وسط الكأس في حدود 10 مم تقريباً.
- ينقل الفائض من عجينة العينة التي لم يتم استخدامها إلى صحن الخلط (mixing dish) ويتم تغطيتها للمحافظة على محتوى الرطوبة بها.





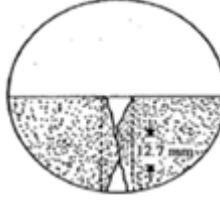
شكل رقم (5) العينة قبل وبعد الاختبار

تقسم عجينة العينة التي تم فرشها بكأس الاختبار عبر قطر الكأس إلى جزأين متساويين حتى قاع الوعاء بحيث يكون الفاصل بين جزئي العينة واضح تماماً وذلك باستخدام أداة القطع (Grooving tool)، التي توضع بشكل عمودي على مركز كأس الاختبار كما الشكل رقم (5) .

7م بتشغيل الجهاز عن طريق ذراع التدوير (Crank arm) بمعدل دورتين كل ثانية في حالة الجهاز يشغل يدويا وهنا يبدأ جزئي العينة في الحركة والانسياب (flow) باتجاه مركز كأس الاختبار ويستمر تدوير الذراع حتى يتم التحام جزئي العينة بشكل واضح بحيث تكون مسافة التحام وتلامس العينة بسافة حوالي 2/1 بوصة (13 مم) تقياً، وتدون عدد الضربات (N) (Blows or shocks) اللازمة للتحام وتلامس العينة.

خذ جزء من عجينة الكأس قرب المجرى (groove) وضعها في علبة الاختبار وحدد وزنها مع الغطاء وليكن (W2)، ثم ضعها في الفرن لمدة 24 ساعة وذلك لتحديد محتوى الرطوبة، والذي يمثل النسبة بين وزن الماء بالعينة ووزن المادة الصلبة بالعينة. وليكن وزنه (W3).

ضع الباقي من العينة في وعاء الخلط وأعد خلطها بكمية مختلفة وهنا يجب غسل وتجفيف كأس الاختبار وأداة القطع أو التسوية جيداً وتجهيزها للمحاولة اللاحقة، ثم كرر خطوات التجربة من 4 إلى 7 بحيث لا يقل عدد النتائج المتحصل عليها عن 4 نتائج على الأقل.



شكل رقم (6) التحام العينة

تكرر خطوات التجربة على عدد اربع عينات على الأقل وتدون عدد الضربات التي أدت الى قفل المجرى (groove closing) ونسبة محتوى الرطوبة (%) المناظر لها في كل مرة. يتم تحديد محتوى الرطوبة للعينات وبعدها ضربات تتراوح بين 10 إلى 40 ضربة، فمثلاً: يكون عدد الضربات في النقطة الأولى ما بين 10-15 ، والثانية 20 - 25 ، والثالثة 25 - 35 ضربة وهكذا.

بعد تدوين البيانات في الجدول المعد لذلك، يتم رسم منحنى الانسياب (Flow curve) والذي يمثل العلاقة بين المحتوى المائي (w%) ولو غار يتم عدد الضربات (N)، لعدد أربع عينات على الأقل.

باستخدام منحنى الانسياب، يتم تحديد حد السيولة (L.L) للتربة ويمثل قيمة المحتوى المائي المناظر لعدد 25 ضربة، كما بالشكل رقم (7).

الحسابات: Calculations

بعد استكمال خطوات التجربة السابقة وتدوين البيانات في الجدول المعد لهذا الغرض بدقة،

يتم حساب المحتوى المائي لكل محاولة وذلك بحساب النسبة المئوية بين الماء الموجود بالعينة

ووزن التربة الجافة للعينة باستخدام العلاقة التالية:

$$W_w = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$$

[1 (%)]

ولتحديد دليل الانسياب (flow index) نستخدم العلاقة التالية:

$$I = \frac{W_1(\%) - W_2(\%)}{\log N_2 - \log N_1}$$

[2]

حيث:

$W1 =$ وزن العلبة فارغة والغطاء (جم)

$W2 =$ وزن العلبة والغطاء + التربة الرطبة (جم)

$W3 =$ وزن العلبة والغطاء + التربة الجافة (جم)

$N1, N2$ عدد الضربات التي أدت الى التحام وتلامس العينة عند نقطتين على منحى الانسياب.

$W1 \cdot W2 =$ المحتوي المائي (%) النقطتين على منحى الانسياب.

$FI =$ دليل الانسياب أو ميل المنحى.

اختبار حد السيولة Determination of Liquid Limit

جدول رقم (1) عينة افتراضية لاختبار التربة

رقم العملية: ----- التاريخ: -----

المشروع: ----- موقع المشروع: -----

رقم الجسة: ----- عمق العينة: -----

رقم العينة: ----- وصف التربة: -----

اسم الفاحص: -----

رقم العينة				العنصر
4	3	2	1	رقم علبة الرطوبة والغطاء
15.4	15.00	15.3	15.5	وزن العلبة فارغة والغطاء (جم) (W_1)
62.1	68.4	72.1	72.8	وزن العلبة والغطاء + التربة الرطبة (جم) (W_2)
49.1	52.2	51.2	53.6	وزن العلبة والغطاء + التربة الجافة (جم) (W_3)
33.7	37.2	35.9	38.1	وزن التربة جافة (جم) ($W_1 - W_3 = W_s$)
13.0	16.2	19.9	19.2	وزن الماء المضاف (جم) ($W_3 - (W_2) = (W_w)$)
38.58	43.55	55.43	50.04	المحتوى المائي (%) ($(W_c) = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$)
32				

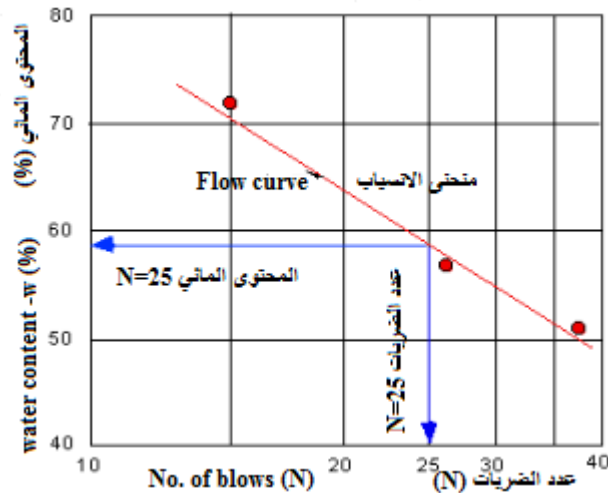
عدد الضربات (-) (N)	10	14	24
---------------------	----	----	----

متوسط المحتوى المائي = 46.98%

ارسم منحى الانسياب للقيم المتحصل عليها في كل مرة على المقياس اللوغاريتمي (Semi-log) بحيث يتم تمثيل المحتوى المائي على المقياس العددي رأسياً، ويتم تمثيل عدد الضربات على المقياس اللوغاريتمي أفقياً.

منحى الانسياب يمثل خط مستقيم يمر خلال أو بالقرب من النقاط المتحصل عليها كلما أمكن ذلك.

يتم تحديد المحتوى المائي للعينه وذلك بأخذ القيمة المناظرة لعدد 25 ضربة على المحور الأفقي والتي يتم قراءتها من المحور الرأسي عند التقاطع مع منحى الانسياب شكل رقم (7).



شكل رقم (7)، رسم توضيحي لمنحى الانسياب (Flow curve)

التقرير: Report

عند إعداد التقرير وجدول البيانات يجب أن يحتوي على المعلومات والبيانات التالية:

اسم المشروع وموقعه

تحديد مكان الاختبار واسم الفني الذي أجرى الاختبار (الفاحص).

موقع الجسة، ورقمها، ووصف عينة التربة.

ذكر المحتوى المائي مقرباً لأقرب رقميين عشريين.

تدوين آدا كانت العينة تحتوى على أكثر من نوع من التربة كنتيجة لوجود طبقات مثلاً.

مرجع التجربة، وتوضيح إي إجراءات تمت عند الاختبار كاستبعاد كمية أو تدرج معين من العينة.

رسم منحى الانسياب للقيم المتحصل عليها

تدوين إي ملاحظات أو مشاهدات خلال إجراء التجربة.

الفصل الثالث

اختبار حد اللدونة

Plastic Limit Test

مقدمة: Introduction

تعتبر هذه التجربة اختيارية حيث تعتمد دقة نتائجها على كفاءات وخبرة الشخص الفني الذي يقوم بإجراء الاختبار ومع ذلك يمكن الحصول على نتائج مقبولة الى حد ما. ومن ناحية عملية تعتبر عينة الترب عديمة اللدونة إذا كانت قيمة حد اللدونة أكبر من أو مساوية لقيمة حد السيولة أو في حالة استحالة تحديد قيمة حد اللدونة واللدونة. وخاصية اللدونة (البلاستيكية) هي قابلية التربة للتغير في الشكل دون حدوث تشقق. ونظراً لاختلاف نسبة الطين في عينات التربة الذي بدوره يؤدي الى اختلاف قوام التربة ودليل البلاستيكية (Soil Consistency and Plasticity index) فيها، فكلما زادت نسبة المواد الناعمة والطينية زادت قيمة دليل اللدونة (Plasticity index) لذا فإن دراسة ومعرفة خاصية اللدونة وحدودها في التربة في غاية الأهمية، ومن أهم استخدامات حد اللدونة تحديد دليل اللدونة (Plasticity index: P.I)، وكذلك عند تمثيلها بيانياً على مع حد السيولة يمكن عن طريق ذلك تحديد تصنيف التربة. ويعرف دليل اللدونة بأنه الفرق بين حد السيولة وحد اللدونة.

تعريف: Definition

يعرف حد اللدونة (Plastic limit) بأنه محتوى الرطوبة (%) الذي عنده تتغير حالة التربة المتماسكة (Cohesive soil) من الحالة اللدنة الى الحالة شبه الصلبة. اما في المعمل يعرف حد اللدونة بأنه قيمة محتوى الرطوبة (%) الذي عنده يبدأ خيط أو الحبل المكون من عجينة عينة التربة في التشقق أو الكسر عندما يتم دحرجها وفركها باليد لتكوين العجينة على هيئة حبل أو خيط سمكه ليصبح قطره حوالي (1/8") ≈ 3 مم.



شكل رقم (1)، الأدوات المستخدمة في الاختبار

الأدوات المستخدم: Tools used

- منخل رقم # 40 (0.425 مم)
- ميزان لا تقل درجة دقته عن 0.01 جم

• فرن تجفيف بدرجة حرارة $5^{\circ}\text{C} \pm 110^{\circ}\text{C}$

• صحن تجفيف من البورسلين

• أداة خلط وأداة واقية من الحرارة

• عدد من علب الخاصة بالرطوبة

• قنينة ماء مقطر

• لوح زجاج

خطوات التجربة: Testing Procedure

زن عدد من علب الرطوبة مع الغطاء وليكن وزنها (W1) ودون ذلك في الجدول.

يوضع حوالي 20 إلى 30 جرام من التربة الناعمة المارة من منخل رقم # 40 (0.425 مم)

في صحن الخلط

أضف إليها كمية مناسبة من الماء المقطر ثم أخلط العينة جيداً حتى يتم تشكيل عجينة لدنة، متجانسة وذات قوام منتظم.

خذ من عجينة العينة التي تم تحضيرها بالفقرة (3) وجهاز عدد كافي من اللعينات على هيئة قطع

ناقص أو بيضاوي (Ellipsoidal- shape)



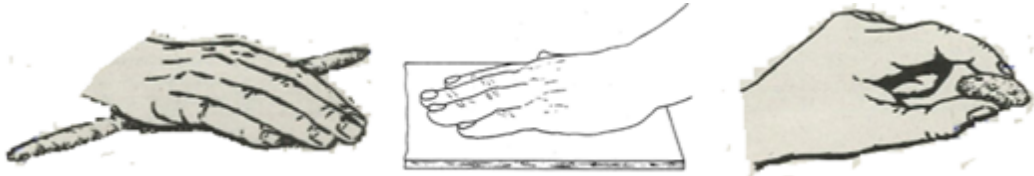
خذ قطعة من العينة وشكلها على شكل كروي أو بيضاوي ثم ضعها على السطح الزجاجي حيث يتم بعد ذلك برمها وتدويرها براحة اليد تحت ضغط كافي فقط لتشكيل العجينة على هيئة لفة (thread) بقطر منتظم عبر طولها بمعدل تدوير 80-90 برمة أو دورة في الدقيقة الى أن يصل قطرها حوالي ($1/8$ ") ≈ 3 مم.



بعد أن يصل قطر العينة الى أقل من ($1/8$ ") ≈ 3 مم. وأعد تقطيع العجينة الى مجموعة من القطع وقم فعصها وتشكيلها كما سبق وقم برمها وتدويرها على السطح الزجاجي بنفس الطريقة السابقة، واستمر في هذه الخطوات عدة مرات حتى تتقطع (Crumble)العجينة ولا يمكنها بعدها تشكيل العجينة الى خيط أو حبل (thread) تحت الضغط براحة باليد على السطح الزجاجي.



وهنا يجب أن نشير الى أنه عند تدوير وبرم العجينة يمكن لها أن تفتت وتتهار (crumble and rupture) حتى عند قطر اكبر من 3مم وفي هذه الحالة تكون الخطوات التي تمت كافية مع الاخذ بشرط أن العجينة قد سبق تدويرها الى قطر 3 مم.



شكل رقم (2) مراحل اجراء الاختبار

تجمع عينات العجينة التي سبق حفظها في علب الاختبار وتوضع في فرن التجفيف لتحديد المحتوى المائي فيها، وتدون قيم المحتوى المائي التي تم الحصول عليها بعد استكمال الخطوات السابقة كقيم لحد اللدونة (Plastic limit) لعينة التربة وتقرب هذه القيم الى اقرب رقم صحيح.

الحسابات: Calculations

بعد تحديد النتائج السابق وتدوينها بالجدول يتم تحديد قيمة حد اللدونة (Plastic limit) ودليل اللدونة (Plasticity index) من العلاقات التالية:

(حد اللدونة (Plastic limit)

$$\text{Plastic limit} = \frac{\text{كتلة الماء}}{\text{كتلة التربة جافة}} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \quad [1]$$

٢ دليل اللدونة (Plasticity index):

$$\text{Plasticity index} = \text{Liquid Limit} - \text{Plastic Limit}$$

$$.I = L.L - P.L \quad [2] \quad P$$

ملاحظات:

في حالة عدم امكانية تحديد حد السيولة أو حد اللدونة أو كليهما يذكر في التقرير أن التربة

عديمة اللدونة (غير بلاستيكية non- plastic- NP)

عندما يكون حد اللدونة مساوياً أو أكبر من حد السيولة كذلك يذكر في التقرير ان التربة عديمة

اللدونة (غير بلاستيكية non- plastic- NP)

اختبار حد اللدونة Determination of Plastic Limit

رقم العملية: ----- التاريخ: -----

المشروع: ----- موقع المشروع: -----

رقم الجسة: ----- عمق العينة: -----

رقم العينة: ----- وصف التربة: -----

اسم الفاحص: -----

جدول رقم (1) عينة افتراضية لاختبار التربة

العينات			العنصر
3	2	1	رقم علبة الرطوبة والغطاء
14.8	14.5	15.2	وزن العلبة فارغة والغطاء (جم) (W_1)
30.6	31.4	30.5	وزن العلبة والغطاء + التربة الرطبة (جم) (W_2)
28.6	28.8	28.3	وزن العلبة والغطاء + التربة الجافة (جم) (W_3)
13.8	14.3	13.1	وزن التربة جافة (جم) (W_s)
2.0	2.6	2.2	وزن الماء المضاف (جم)

			(W _w)
14.49	18.18	16.79	المحتوى المائي (%) (W _c)
16.49			حد اللدونة (%) (P.L)

حد اللدونة (Plastic limit) = 16.49 %

التقرير: Report

عند إعداد التقرير وجدول البيانات يجب أن يحتوي على المعلومات والبيانات التالية:

اسم المشروع وموقعه

تحديد مكان الاختبار واسم الفني الذي أجرى الاختبار (الفاحص).

موقع الجسة، ورقمها، ووصف عينة التربة.

ذكر حد اللدونة (Plastic limit) مقرباً لأقرب رقمين عشريين.

تدوين إذا كانت العينة تحتوي على أكثر من نوع من التربة كنتيجة لوجود طبقات مثلاً.

مرجع التجربة، وتوضيح أي إجراءات تمت عند الاختبار كاستبعاد كمية أو تدرج معين من العينة.

تدوين أي ملاحظات أو مشاهدات خلال إجراء التجربة.

الفصل الرابع

تجربة حد الانكماش

Shrinkage Limit Test

مقدمة: Introduction

تمر التربة الطينية في عند تجفيفها ومراحل فقدانها التدريجي للرطوبة بنقص في حجم كتلتها الى أن تصل الى مرحلة تكون عندها مهما فقدت من الرطوبة لا يحدث أي تغير في حجمها، وتعرف نسبة المحتوى المائي التي يثبت ويقف عندها النقص في حجم التربة بحد الانكماش (Shrinkage limit) ويمكن عن طريق هذه التجربة تحديد عوامل انكماش التربة؛ حد الانكماش، والتغير الحجمي، ونسبة الانكماش، والانكماش الخطي للتربة.

تعريف: Definition

حد الانكماش: يعرف حد الانكماش بأنه نسبة الرطوبة التي يثبت ويقف النقص (Cease soil volume reduction) في حجم التربة مع زيادة النقص في المحتوى المائي بها .

ادوات التجربة: Tools and Equipment

1. فرن تجفيف ذو درجة حرارة $(110 \pm 5^{\circ}\text{C})$
2. ميزان ذو حساسية 0.01 جم
3. قنينة بها ماء مقطر

4. مسطرة أو قطعة معدنية مستقيمة (Roller or Steel straight edge)

5. سكين (Spatula)

6. كمية من الزئبق ومخبار مدرج (Mercurv)

7. لوح شفاف مزود بثلاث شوك معدنية لغمر التربة في الزئبق.

8. زجاجة المراقبة (Watch glass)

9. طبق تبخير من مادة البورسيلين

10. صحن اختبار حد الانكماش

خطوات التجربة: Testing procedures

ضرب في طبقة أو صحن الخلط حوالي 50 جرام من التربة التي تم تجهيزها المارة من المنخل رقم 40 (0.425 مم).

أضف إلى التربة كمية الماء تكفي كافية تماماً أمام الفراغات الملائمة بالتربة بحيث تكون مسامية أم أكبر قليلاً من حد السمية الموزونة هذا في حالة التربة المشبعة أما في حالة التربة اللينة فقد تكون كمية الماء المطابقة أكبر قليلاً من ذلك تزيد عن ذلك بحوالي 10% تقريباً، يتم خلطها جيداً حتى تكون منتظمة القوام وسهلة التشغيل.

أخذت طبق اختبار حد الانكماش (Shrinkage limit dish) ، طبقة ، رقاقة مادة دهنية (Petroleum jelly) ذات قوام غايط كالأزليين مثلاً لمنع التصاق العجينة بالطبق، ثم خذ وزن الطبق فارغاً وليكن وزنه (W1) جرام.

ضرب في منتصف طبق الاختبار كمية من التربة التي تم خلطها بحيث يكون حجمها مساوياً لحجم 1/3 حجم الطبق أو معاد الاختبار ثم يتم دق الطبق على سطح صلب حتى تتحد التربة وتدفع تحت تأثير الدق إلى الحواف ويتم طرد الفراغات الهوائية المحبوسة الموجودة بها.

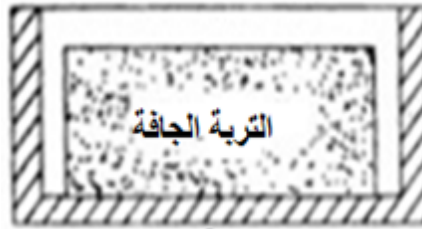
أضف كمية إضافية من التربة مساوية للكية السابقة ويدق الطبق جيداً حتى يتم طرد وخروج الهواء المحبوس بالعجينة.

كرر الخطوة رقم (4،5) حتى يمتلئ الطبق وتفيض التربة على حوافه، ثم قم بكشط وتسوية سطح التربة باستخدام المسطرة أو القطعة المعدنية المستقيمة، ثم نظف الحواف والاسطح الخارجية وقاع طبق الاختبار بمنشفة أو ورق تنظيف.



شكل رقم (1) العينة قبل التجفيف

بعد تسوية وتنظيف الاسطح حدد وزن طبق الاختبار والتربة الرطبة وليكن وزنه مع التربة الرطبة (W2). جرام ويدون في الجدول، أترك التربة لتجف في غرفة الاختبار لمدة 6 ساعات تقريباً، حتى يتغير لون التربة من اللون الداكن الى اللون الفاتح , 8ضع العينة في فرن التجفيف عند درجة حرارة $(110^{\circ}\text{C} - 105)$ حتى يثبت وزن العينة، بعد أن تبرد العينة يتم وزن طبق الاختبار والتربة التي تم تجفيفها بالفرن، وليكن وزنها معاً (W3) جرام



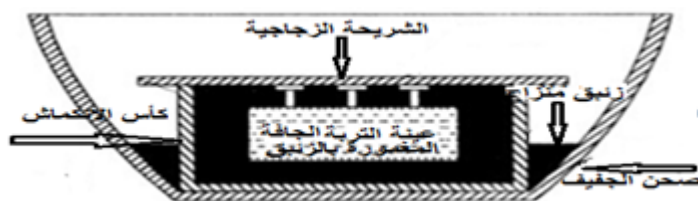
شكل رقم (2) العينة بعد التجفيف

ويدون في الجدول. ولتحديد حجم طبق اختبار الانكماش (V1) انقل التربة من طبق الاختبار وأملأ الطبق بمادة الزئبق (Mercury) بحيث يكون طبق الاختبار

موضوعاً على زجاجة مراقبة (Watch glass)، ثم استخدم الشريحة ذات الثلاث شوكة (Three pronged glass plate) لتسوية سطح الزئبق بالصحن، وهنا سينساب وينزاح الزئبق الزائد الى زجاجة المراقبة (Watch glass)، حدد وزن كمية الزئبق بالطبق، وليكن وزنها (W4) جرام.

ولتحديد حجم التربة الجافة (V2)، أملأ الكأس الزجاجي بالزئبق، بحيث يكون موضوعاً داخل زجاجة المراقبة، باستخدام الشريحة ذات الثلاث شوكة قم بتسوية سطح الزئبق الموجود بالكأس الزجاجي، ثم حول الزئبق الذي تم انسيابه بعد مليء الكأس وخلال التسوية للزئبق الى زجاجة المراقبة.

ضع التربة الجافة على سطح الزئبق بالكأس الزجاجي، ونظراً للفرق بين الوزن النوعي للتربة والزئبق فإن التربة ستطفو فوق سطح الزئبق، باستخدام الشريحة ذات الثلاث شوكة أضغط ببطء (Slowly and firmly) على التربة بحيث تغمر عينة التربة بالكامل في مادة الزئبق، وهنا سوف تتناسب كمية من الزئبق التي حلت محلها عينة التربة الجافة.



شكل رقم (3) طريقة ايجاد حجم التربة الجافة

. خذ وزن كمية الزئبق المناسب في الطبق الى درجة دقة 0.01 جرام ، وليكن وزن الزئبق المناسب (W5) جرام.

. كرر التجربة ثلاث مرات على الأقل وتدون النتائج ويتم استكمال الحسابات.

الحسابات: Calculations

1. تحديد المحتوى المائي Determination of water content للتربة:

$$w = \frac{(W2-W3)}{(W3-W1)} \times 100 \quad [1]$$

حيث:

$W1$ = وزن الطبق فارغا (جرام).

$W2$ = وزن الربة الرطبة والطبق (جرام).

$W3$ = وزن الربة الجافة والطبق (جرام).

2. تحديد نسبة التغير في المحتوى المائي (%) قبل توقف (Cease) التغير في الحجم:

$$\Delta w (\%) = \frac{(V1-V2)\rho_w}{\text{mass of dry soil}} = \frac{W4-W5}{13.6(W3-W1)} \times 100 \quad [2]$$

حيث :

ρ_w = كثافة الماء = 1 جم/سم³

$W4$ = وزن الزئبق بالكأس (جرام)

$W5$ = وزن الزئبق المنزاح بعد غمر العينة (جرام).

3. تحديد حد الانكماش (SL) Determination of Shrinkage limit:

$$SL = w1 - \frac{(W2-W3)}{13.6(W3-W1)} \times 100 \quad [3]$$

4. تحديد نسبة الانكماش (SR) Determination of shrinkage ratio

تعرف نسبة الانكماش (RS) للتربة بأنها النسبة بين تغير حجم معلوم والتغير المناظر له في

محتوى الماء فوق حد الانكماش، وحسب من المعادلة التالية:

$$[4] \quad SR = \frac{(\Delta V/V2)}{(\Delta w/Ws)} = \frac{(\Delta V/V2)}{(\Delta V \rho_w)/Ws} = \frac{Ws}{(\rho_w)V2}$$

حيث:

$Ws =$ وزن التربة الجافة بالجرام.

$$(W3-W1) = Ws$$

فإذا كانت وزن التربة (Ws) بالجرام، والحجم ($V2$) سم³، والكثافة (ρ_w) =

1 جم/سم³ فإن نسبة الانكماش (SR) تكون:

$$[5](\%) \quad SR = \frac{Ws}{V2}$$

تحديد حد الانكماش

Determination of Shrinkage Limit

رقم العملية: ----- التاريخ: -----

المشروع: ----- موقع المشروع: -----

رقم الجسة: ----- عمق العينة: -----

رقم العينة: ----- وصف التربة: -----

اسم الفاحص: -----

جدول رقم (1) عينة افتراضية لاختبار التربة

رقم التجربة			العنصر
1	2	3	
012.3	12.10	12.6	كتلة كأس الانكماش بعد الدهن (W1) جرام
40.32	40.3	(W2) 40.6	كتلة الصحن والتربة الرطبة جرام
33.10	32.9	(W3) 32.20	كتلة الصحن والتربة الجافة

			جرام
34.71	35.58	35.92	المحتوى المائي = 100
198.80	197.8	(194.9)	كتلة الزئبق لملء الكأس
			جرام
150.30	148.8	(142.5)	كتلة الزئبق المنزاح
			جرام
17.15	17.32	17.06	التغير في المحتوى المائي = %
17.56	18.26	18.96	

متوسط حد الانكماش = 18.26 %

التقرير: Report

عند إعداد التقرير وجدول البيانات يجب أن يحتوي على المعلومات والبيانات التالية:

سم المشروع وموقعه

تحديد مكان الاختبار واسم الفني الذي أجرى الاختبار (الفاحص).

موقع الجسة، ورقمها، ووصف عينة التربة.

ذكر متوسط حد الانكماش مقرباً لأقرب رقمين عشريين.

تدوين آدا كانت العينة تحتوي على أكثر من نوع من التربة كنتيجة لوجود طبقات مثلاً.

مرجع التجربة، وتوضيح إي إجراءات تمت عند الاختبار كاستبعاد كمية أو تدرج معين من العينة.

تدوين إي ملاحظات أو مشاهدات خلال إجراء التجربة.

الفصل الخامس

اختبار التدرج الحبيبي (التحليل المنخلي)

Sieve Analysis Test

المقدمة: Introduction

التحليل المنخلي للتربة أو كما يذكر عادة تجربة التدرج الحبيبي (Soil gradation test) هي أحد التجارب الأساسية المهمة لمختلف العلوم المرتبطة بالأرض مثل علم التربة (Pedology)، العلوم الزراعية التطبيقية (Agronomy)، وعلم الترسيب، وعلوم الهندسة المدنية المتعلقة بتنفيذ المشروعات الهندسية مثل؛ الطرق والجسور والمطارات والسكك الحديدية والمباني السدود والمرافق العامة والانشاءات بشكل عام. حيث تستعمل نتائج هذه التجربة في تصنيف التربة وحديد جودتها ومدى توافقها وتحقيقها لمتطلبات مواصفات التصميم، والتحكم في ضبط جودة الأعمال المنفذة وحساب العلاقات بين مكونات العينة.

ولتصنيف التربة للأغراض الهندسية يتطلب الأمر معرفة التوزيع أو التدرج الحبيبي لحجم الجزيئات المكونة لعينة التربة المطلوب تصنيفها حيث يتم ذلك عن طريق اجراء تجربة التحليل المنخلي (Sieve analysis) باستخدام سلسلة من المناخل (الغرايبل) دائرية الشكل بقطر 8

بوصة (203 مم) غالباً، تصنع من الأسلاك المنسوجة (Woven wires) ذوات فتحات قياسية مربعة الشكل بإحجام مختلفة في سلسلة من الأرقام حيث يحدد رقم لكل منخل يقابل هذا الرقم سعة الفتحات لكل منخل بالمليمتر أو البوصة حسب نظام الاختبار أو وحدات القياس المستخدمة في كل بلد. وهنا لابد أن نشير الى أنه كل ما كبر رقم المنخل صغرت الفتحات ويمكن توضيح ذلك بالجدول رقم (1). وفي أغلب اختبارات التحليل المنخلي القياسية تتطلب غالباً استخدام الأرقام التالية (4، 10، 20، 40، 60، 140، 200) من المناخل ضمن مجموعة المناخل المستخدمة لأهميتها في تحليل نتائج الاختبارات، وطريقة التجربة الموصوفة هنا تجري على التربة الخشنة (Granular soil) سواء كانت تحتوي أو لا تحتوي على المواد الناعمة، وفي حالة احتواء التربة على نسبة عالية نسبياً للمواد المار من المنخل رقم 200 تصل أو تزيد عن 10 % تقريباً يتطلب إجراء اختبار الهيدرومتر. ولا تزودنا هذه التجربة بأي معلومات عن شكل الحبيبات من حيث كونها حبيبات دائرية أو زاوية (Circular or angular) أو دليل التبطط والتفطح (Elongation and flakiness index).

جدل رقم (1) سلسلة من المناخل

Sieve No	Sieve size (mm)	Sieve No	Sieve size (mm)
No. 4	4.76	No. 40	0.425
No. 8	2.36	No. 50	0.300
No. 10	2.00	No. 60	0.250
No. 12	1.70	No. 80	0.180

No. 16	1.18	No. 100	0.150
No. 20	0.85	No. 140	0.106
No. 30	0.60	No. 200	0.075

الهدف من التجربة:

الهدف من هذه التجربة هو تحديد نسب حجم الحبيبات المكونة لتدرجات التربة المطلوب اختبارها وحيث أن التربة تتكون من العديد من التدرجات بمعنى أن أي كمية محجوزة على أي منخل تحتوي على العديد من الأحجام المختلفة ولذا فإنه من الصعوبة بمكان تحديد جميع أحجام التربة لذا تم توزيعها على معدلات أحجام قياسية لمناخل مختلفة .

الأدوات:

مجموعة من المناخل القياسية يجب أن تحتوي على المناخل القياسية المشار إليها أرقام (4، 10، 20، 40، 60، 140، 200) التي تستخدم غالبا في التحليل المنخلي القياسي بالإضافة إلى صحن (Pan) القاع والغطاء. ويمكن إضافة مناخل أخرى بينها حسب الحاجة.

فرن تجفيف بدرجة حرارة ($50^{\circ}\text{C} \pm 110^{\circ}\text{C}$)

ميزان بدرجة حساسية 0.1 جم.

مفرشة ذات أسنان نحاسية ناعمة لتنظيف المناخل.



شكل رقم (1) بعض أدوات الاختبار

5. محقنة مياه

6. هزاز الغرابيل الآلي أو ميكانيكي (Mechanical sieves shaker)

الهدف من التجربة:

تتكون التربة من العديد من التدرجات بمعنى أن أي كمية محجوزة على أي منخل من المناخل القياسية تحتوي على العديد من الاحجام المختلفة الأخرى، ولذا فإنه من الصعوبة بمكان تحديد جميع احجام التربة لذا تم توزيعها على معدلات احجام قياسية لمناخل مختلفة، يكمن الهدف الأساسي التحليل المنخلي للتربة الى تحديد النسبة المئوية للتدرج الحبيبي لمختلف أحجام جزيئات التربة وفقاً للمناخل القياسية، حيث يعزى لهذه الخاصية السلوك الميكانيكي للتربة تحت تأثير الاجهادات والأحمال. وعن طريق هذه التجربة يمكن تحديد دليل المجموعة وتصميم خلطات التربة حسب المواصفات المطلوبة للأعمال الهندسية، وإمكانية التأسيس عليها واستخدامها في الطرق و

السدود و المطارات وغيرها من المنشآت الأخرى ، ومن خلال التحليل المنخلي يمكن معرفة النقاط المهمة التالية:

تصنيف التربة تجديد دليل المجموعة

تحديد أكبر وأصغر حجم لجزيئات التربة حسب المناخل القياسية.

التوزيع النسبي لجزيئات التربة. ورسم منحى تدرجها

كمية المواد الناعمة بالتربة التي لها تأثير كبير على دمك والنفاذية قابلية الانضغاط.

تحديد معاملي الانتظام والتدرج للتربة

خطوات التجربة:

خذ عينة من التربة حوالي 500 جرام التي م تجهيزها وفي حالة احتواء التربة على كمية كبيرة من الحصى (Gravel) ذات احجام اكبر من 4.75 مم يتطلب الأمر تجهيز عينات بأوزان اكبر.

فتت العينات الى جزيئات دون تفتيت او تكسير الجزيئات ذاتها.

تأكد من نظافة الغرابيل وإزالة أي جزيئات عالقة بفتحات المناخل بالفرشة أو باليد إذا لزم الأمر.

يتم ترتيب المناخل بشكل تنازلي حسب فتحاتها الأكبر فالأصغر الى أن تنتهي بالطاجين أو الصحن (Pan) من اسفل مجموعة المناخل الذي يوضع مباشرة تحت المنخل رقم 200. كما بالشكل رقم (1). ويمكن اضافة مناخل اخرى بين غرابيل المجموعة المستخدمة حسب الحاجة كما سبقنا الإشارة.

حدد وزن العينة المراد اختبارها بدقة الى درجة دقة تصل 0.1 جرام (W1).

يتم تثبيت المناخل التي تم ترتيبها جيداً بالهزاز الآلي (Mechanical shaker) بتسلسل تنازلي الأكبر فالأصغر.

ضع التربة التي تم تجهيزها في الفقرة (5) في الغربال العلوي ثم ثبت غطاء الغربال جيداً. بعد التأكد من كافة الاحتياطات الخاصة بالتجربة قم بتشغيل الجهاز الهزاز الذي بدوره يقوم بتحريك المناخل بشكل حركة الى الامام والى الخلف والى اليمين واليسار ومع وعكس عقارب الساعة (backwards and forwards, left to right, circular clockwise and anti-clockwise) بحيث تتحرك عينة التربة خلال الاختبار بشكل مستمر على أسطح المناخل. يستمر التشغيل لفترة زمنية من 10 -15 دقيقة.

بعد فترة زمنية من 10 الى 15 دقيقة من نخل أو غربلة عينة التربة يتم إيقاف الهزاز ويؤخذ كل منخل على حدة ويوزن بدقة بحيث يحدد وزن التربة المحجوزة على كل منخل وكذلك كمية التربة المارة من منخل رقم 200 التي تم حجزها بالصحن (الطاجين) وتدون بالجدول. . في حالة التصاق بعض الجزيئات بفتحات المناخل يتطلب الأمر إزالتها بالفرشة أو باليد و تضاف الى كمية المواد المتبقية على نفس الغربال.

. في حالة وجود كمية كبيرة من الطين والطيني (Silt and Clay) محجوزة على المنخل رقم 200 ينقل المنخل رقم 200 بالمواد المحجوزة المحتوية على الطين والطيني ويتم غسلها بالماء وذلك بسكب الماء على المواد المحجوزة على المنخل عن طريق حنفية (صنبور) المعمل الى ان تبدو المياه الخارجة من المنخل صافية ونظيفة وخالية من اي عوالق.

. بعد استكمال عملية الغسل للتربة يتم نقل التربة المحجوزة على المنخل رقم 200 عن طريق الغسل العكسي (Back washing) الى صحن تجفيف من مادة البورسلين (Porcelain dish) ثم توضع في فرن التجفيف الى أن يثبت وزنها وبذلك يكون وزن المواد الناعمة التي تم غسلها مساوياً للوزن الكلي المحجوزة على منخل رقم 200 المسجل بالفقرة (9) مخصوماً منه الوزن المحجوز على منخل رقم 200 بعد الغسل والتجفيف فقرة (12) وتضاف المواد التي تم غسلها للمواد المارة من منخل رقم 200 التي تم حجزها في الصحن (الطاجين) فقرة (9) هذا في حالة وجود كمية معتبرة من الطين والطيني محجوزة على المنخل رقم 200 ، أما في حالة كمية الطين والطيني المحجوزة على المنخل رقم 200 صغيرة وغير ذات تأثير فيتم الاستغناء عن اجراء عملية غسل التربة المحجوز على المنخل رقم 200.

. يتم بدقة تدوين كافة الأوزان والملاحظات التي تم مشاهدتها خلال التجربة في الخانات المعدة لذلك.

الحسابات : Calculations

بعد الانتهاء من الفقرات السابقة يتم انشاء جدول وتدوين نسب ووزن المواد المحجوزة والمارة على كل منخل بدقة حسب الجدول رقم (2) ويمكن حساب ذلك باستخدام العلاقات التالية:

▪ يتم حساب نسبة التربة المحجوزة (R_n) على كل منخل (n^{th}) بداية من الأعلى الى السفلى حيث:

$$R_n = \frac{(W_n) \text{ الكمية المحجوزة على المنخل}}{(W_1) \text{ الكمية الكلية}} \times 100$$

يتم حساب النسبة (%) التراكمية المحجوزة على (n^{th}) منخل من العلاقة التالية:

$$[2] \quad \text{النسبة (\% التراكمية المحجوزة على } n^{th} \text{ منخل)} = \sum_{i=1}^n R_n$$

يتم حساب النسبة التراكمية المارة من كل منخل من العلاقة التالية:

$$[3] \quad \text{النسبة (\% التراكمية المارة من } n^{th} \text{ منخل)} = 100 - \sum_{i=1}^n R_n$$

بعد الانتهاء من العمليات الحسابية للمواد المحجوزة والمارة والتراكمية على كل منخل ونسبتها يتم رسم منحنى التدرج الحبيبي على ورق شبه لوغاريتمي (Semi-logarithmic) بحيث يتم توقيع قطر الحبيبات على المحور الأفقي (X) بالمقياس اللوغاريتمي، بينما يتم توقيع نسبة المواد المارة من كل منخل على المحور الرأسي (Y) بالمقياس الطبيعي، كما بالشكل رقم (1)

رقم العملية: ----- التاريخ: -----

المشروع: ----- موقع المشروع: -----

رقم الجسة: ----- عمق العينة: -----

رقم العينة: ----- وصف التربة: -----

اسم الفاحص: -----

جدول رقم (2) نتائج التحليل المنخلي التدرج الحبيبي: (الكمية 1555.4 جرام)

رقم المنخل (No.)	حجم فتحة المنخل (mm)	الكمية المحجوزة على المنخل جرام (gm) (W _n)	النسبة المحجوزة على المنخل R _n (%)	الكمية المارة من المنخل جرام (gm) R _n	النسبة المارة من كل منخل $100 - \sum R_n$ (%)
1"	25.4	0.0	0.0	1555.4	100

95.8	1489.8	4.2	65.6	19.0	3/4"
74.2	1154.5	25.8	400.9	9.50	3/8"
46.6	725.1	53.4	830.3	4.75	No. 4
33.8	525.7	66.2	1029.6	2.36	No. 8
21.2	329.8	78.8	1225.6	0.60	No. 30
13.1	203.8	86.9	1351.7	0.30	No. 50
5.6	87.1	94.4	1468.6	0.15	No.100
2.8	43.55	97.2	1512.2	0.075	No. 200
0.0	0.0	100	1555.4		Pan

الشكل رقم (1): التدرج الحبيبي

بعد رسم المنحنى يتم تحديد المعاملات التالية:

. القطر الفعال (D_{10} – Effective Coefficient)

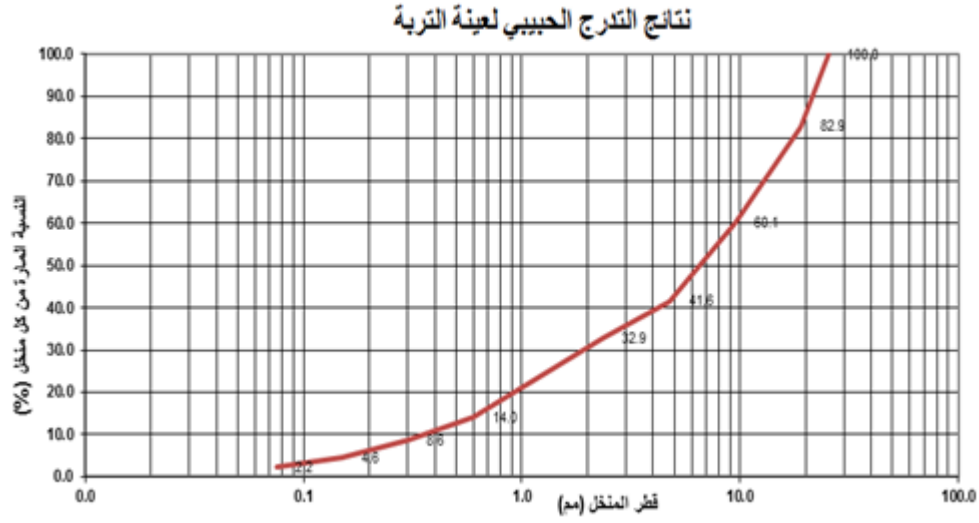
. معامل الانتظام (C_u – Uniformity coefficient)

. معامل التدرج (C_g – Coefficient of gradation) ولكل واحد من هذه المعاملات

أهميته واستخداماته في تصنيف وحسابات التربة. ولتحديد وحساب ذلك يتم استخدام العلاقات

التالية:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = (C_u - \text{Uniformity coefficient})$$



• معامل التدرج $C_g = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} \times D_{10})} = (C_g - \text{Coefficient of gradation})$

•

$C_u = \left(\frac{D_{60}}{D_{10}} \right) = (C_u - \text{Coefficient of gradation})$ معامل الانتظام $C_g = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} \times D_{10})} =$
معامل التدرج $(C_g - \text{Coefficient of gradation})$

التقرير: Report

عند إعداد التقرير وجدول البيانات يجب أين يحتوي على المعلومات والبيانات التالية:

اسم المشروع وموقعه

تحديد مكان الاختبار واسم الفني الذي أجرى الاختبار (الفاحص).

موقع الجسة، ورقمها، ووصف عينة التربة.

رسم منحنيات التدرج الحبيبي

تصنيف التربة وتحديد معاملات التدرج والانتظام والقطر الفعال

ذكر المحتوى المائي مقرباً لأقرب رقمين عشريين.

تدوين إذا كانت العينة تحتوى على أكثر من نوع من التربة كنتيجة لوجود طبقات مثلاً.
مرجع التجربة، وتوضيح إي إجراءات تمت عند الاختبار كاستبعاد كمية أو تدرج معين من
العينة.

تدوين إي ملاحظات أو مشاهدات خلال إجراء التجربة.

G_s

[illegible]

$$\frac{\text{وزن حجم معين من التربة}}{\text{نفس الحجم من الماء}} = (Gs) \text{ الوزن النوعي}$$

$$\text{specific gravity } (Gs) = \frac{\text{unit weight (or density) of soil solids}}{\text{unit weight (or density) of water}} \quad [1]$$





$$\text{specific gravity (Gs)} = \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} \qquad (-) \qquad [2]$$

$$\mathbf{Gs} = \frac{Ws}{Vs \times \gamma_{water}} = \frac{Ws}{Ww} \qquad (-) \qquad [3]$$

$$Ws$$

$$Vs$$

$$\gamma_{water}$$

$$Ww$$

$$\alpha$$

$$\alpha \text{ (correction factor)} = \frac{\text{density of water at } (T1)}{\text{density of water at } (20^{\circ}\text{C})} \quad [4]$$

α

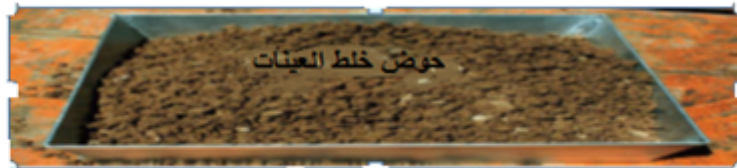
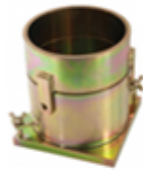
α

T1

	(α)		(α)



±







$$\frac{\text{وزن الرطبة التربة المضغوطة}}{\text{حجم القالب}} \qquad \qquad \qquad \gamma$$

$$\frac{W4-W5}{W5-W3}$$

$$100\times\frac{\gamma}{(1+\frac{w}{100})}$$

$$Y_{d(theoritcal-max)}=Y_{sav}=\frac{Y_w}{(\frac{w(\%)}{100}+\frac{1}{G_s})}$$

$$\gamma_{sv}$$

$$\gamma_w$$

$$=G_s$$

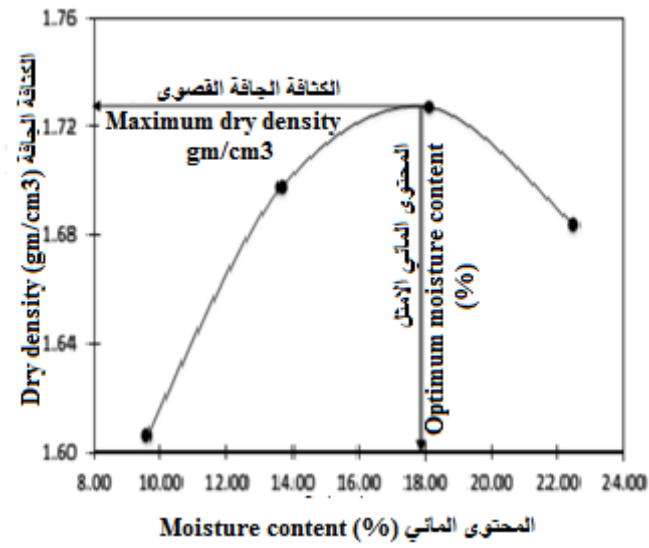
$$G_s\,\gamma_w$$

$$\gamma_{sav})$$

1. تحديد الكثافة الجافة للتربة Determination of density of soil						
رقم العينة						العنصر
6	5	4	3	2	1	
						وزن القالب + القاعدة بدون الطوق (W1) (جم)
						وزن القالب + القاعدة + التربة الرطبة (W2) (جم)
						وزن التربة الرطبة المضغوطة (W2 - W1) (جم)
						الكثافة الرطبة للتربة (جم/سم ³) $Y = \frac{\text{Weight of soil}}{\text{Volume of mold}}$ $Y = \frac{\text{gm}}{\text{cm}^3}$
متوسط قيمة الكثافة الجافة () =						
2. تحديد المحتوى المائي للتربة Moisture content Determination (w)						
رقم العينة						العنصر
6	5	4	3	2	1	
						رقم عتبة أو صفيحة الرطوبة (-)
						وزن عتبة التجفيف الرطبة فارغة (W3) (جم)
						وزن عتبة التجفيف + التربة الرطبة (W4) (جم)
						وزن عتبة التجفيف والتربة الجافة (W5) (جم)
						المحتوى المائي للتربة w (%) $w = \frac{(W4 - W3)}{(W5 - W3)} \times 100$ (%)
متوسط قيمة المحتوى المائي بالتربة (w) =						
3. تحديد الكثافة الجافة للتربة Determination of soil dry density (Y _{dry})						
الكثافة الجافة للتربة (Y _{dry}) (جم/سم ³) $Y_{dry} = \frac{Y}{(1 + \frac{w}{100})}$ gm/cm ³						

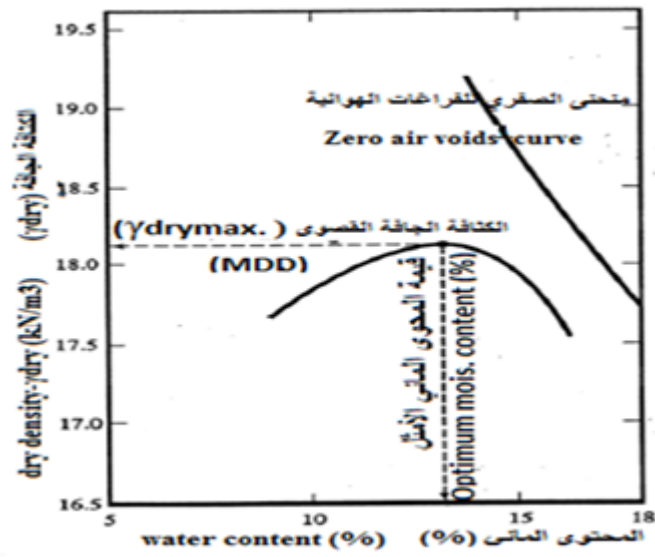
Y_{d(field)}

Y_{d(max-lab)}



$$R \text{ (\%)} = \frac{Y_{d(field)}}{Y_{d(max-lab)}} \times 100$$

$Y_{d(theoretical-max)}$			



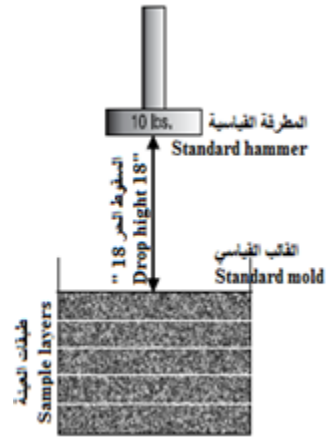
$$(593 \frac{kJ}{m^3}) = 12375 \frac{ft.lb}{ft^3} = \frac{(3 \text{ laers})(25 \frac{blows}{layer})(5.5lb)(\frac{1ft}{blow})}{1/30ft^3} = \text{طاقة الدمك}$$

$$56250 \frac{\text{ft}\cdot\text{lb}}{\text{ft}^3} = (2694 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3})$$



$$\left(\frac{1}{30ft^3}\right)$$

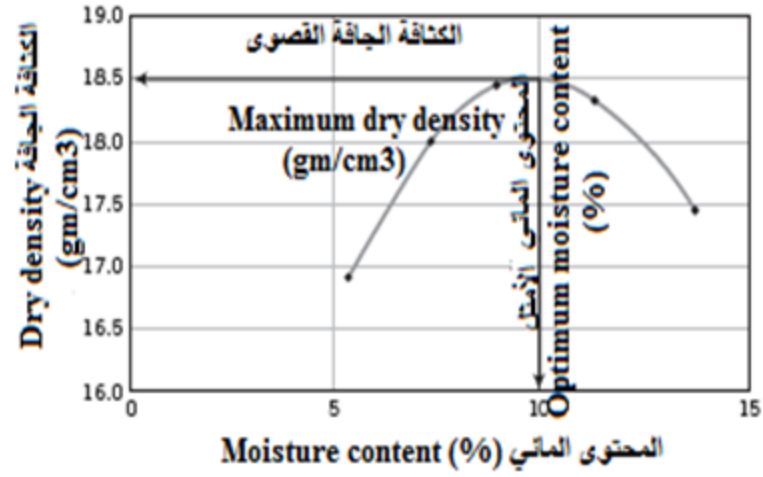
(25blows)



				•
				•

				.

$Y_{d(theoritical-max)}$			



4. تحديد الكثافة الجافة للتربة Determination of density of soil						
رقم العينة						العنصر
6	5	4	3	2	1	
						وزن القالب + القاعدة بدون الطوق (جم) (W1)
						وزن القالب + القاعدة + التربة الرطبة (جم) (W2)
						وزن التربة الرطبة المضغوطة (جم) (W2 - W1)
						الكثافة الرطبة للتربة (جم/سم ³) (γ-gm/cm ³) $\gamma = \frac{\text{Weight of soil}}{\text{Volume of mold}} \text{ gm/cm}$
متوسط قيمة الكثافة الجافة (γ) =						
5. تحديد المحتوى المائي للتربة Moisture content Determination (w)						
رقم العينة						العنصر
6	5	4	3	2	1	
						رقم عتبة أو صفيحة الرطوبة (-)
						وزن عتبة التجفيف الرطوبة فارغة (جم) (W3)
						وزن عتبة التجفيف + التربة الرطبة (جم) (W4)
						وزن عتبة التجفيف والتربة الجافة (جم) (W5)
						المحتوى المائي للتربة (w) (%) $w = \frac{(W4 - W3)}{(W5 - W3)} \times 100 \text{ (%)}$
متوسط قيمة المحتوى المائي بالتربة (w) =						
6. تحديد الكثافة الجافة للتربة						
7. Determination of soil dry density (γdry)						
الكثافة الجافة للتربة (γdry) (جم/سم ³)						
$\gamma_{dry} = \frac{\gamma}{(1 + \frac{w}{100})} \text{ gm/cm}^3$						

الفصل التاسع

تجربة اختبار كثافة التربة الموقعية بطريقة المخروط الرملي

Field Density Test (Sand Cone Test)

مقدمة: Introduction

تعتبر تجربة تحديد الكثافة الحقلية للتربة من التجارب الهامة التي لا يخلو منها معمل من معامل الهندسة المدنية، ويتم من خلالها تحديد الكثافة الحقلية للتربة الطبيعية أو أعمال الردم للطرق والمطارات والسكك الحديدية والسدود، وغيرها بعد الدمك وذلك عن طريق تحديد الوزن والمحتوى المائي للتربة وحجم الحفرة الاختبار وحسب الشروط القياسية لهذا الاختبار. حيث يقوم المهندسون والمشرفون على تنفيذ الأعمال بإجراء اختبارات الكثافة الحقلية ومحتوى الرطوبة حسب مراحل تنفيذ الأعمال، ويتم مقارنة النتائج المتحصل عليها من الموقع مع المستهدف حسب المواصفات الفنية والتصميمية والتأكد من أن المقاول قد حقق المستهدف حسب المواصفات وشروط تنفيذ الأعمال. وتتلخص طريقة الاختبار في حفر حفرة في التربة المراد اختبارها ويتم ذلك يدويا وباستخدام بعض الأدوات البسيطة مثل الإزميل والمطرقة الملعة، حيث يتم حفظ كل التربة التي تم حفرها في حاوية بلاستيكية أو وعاء خاص بغطاء محكم لمنع فقدان الرطوبة، ثم يتم ملء الحفرة بتربة قياسية أو معلومة الكثافة، ويتم تحديد حجم الحفرة، والكثافة الحقلية الرطبة وذلك

بقسمة كتلة التربة الرطبة المزالة من الحفرة على حجم الحفرة، ثم يتم تحديد المحتوى المائي، والكثافة الجافة للتربة، وباستخدام الكثافة الرطبة، والمحتوى المائي، وحجم الحفرة يتم حساب الكثافة الحقلية للموقع. كما تجدر الإشارة إلى أن هذه الطريقة تستخدم لتحديد الكثافة الحقلية للتربة الخالية من الصخور والركام الذي يزيد قطره عن 1 2/1 بوصة (38 مم). كما يمكن استخدامها لتحديد الكثافة الموقعية ووحدة الوزن للتربة الغير مقلقة الموقعية، بحيث تكون الفراغات والمسامات في التربة صغيرة لا تسمح بتخلل رمل الاختبار في هذه الفراغات كما يجب أن تحتوي هذه التربة على ترابط بين جزيئاتها بحيث تمنع حواف الحفر من الانهيار خلال الاختبار ومتماسكة حتى يمكن تثبيت صفيحة القاعدة وجهاز الاختبار دون حدوث تشوه في الحفرة الاختيارية. وتعتبر هذه الطريقة غير مناسبة للتربة العضوية والتربة المتشعبة والتربة عالية اللدونة، حيث يؤدي ذلك إلى تشوه تحت تأثير الضغط عند الحفر أو عند تثبيت الصفيحة والجهاز، وفي حالة التربة الحبيبية عالية المسامية، والتربة التي تحتوي على ركام أكبر من 38 مم يمكن استخدام احد هاتين التجريبتين (D 4914) أو (D 5030) لتحديد الكثافة الحقلية.

الغرض من التجربة

الغرض من هذه التجربة هو تحديد الكثافة للتربة الطبيعية أو التي تم توريدها خلال تنفيذ الأعمال ولها أهمية كبيرة في تحديد نسبة الدك للتربة و طبقات الأساس والأساس المساعد وغالبا ما يتم الاعتماد عليها في قبول أو رفض الأعمال الترابية التي تم تنفيذها كقيمة من كثافة المحددة أو نسبة مئوية للدك من الكثافة الجافة القصوى (Maximum dry density) المحددة المتحصل عليها من تجربة بروكتور (D 1557) مثلا.

الأدوات Tools and Equipments

1. اسطوانة أو قارورة (Jar) لاحتواء الرمل القياسي.

2. اسطوانة أو قالب الاختبار لتجربة بروتكتور مع قاعدته للمعايرة بدون الإضافة.

3. جهاز المخروط الرملي (Sand cone apparatus) مكون من قارورة (جالون) بلاستيكية ملحق بها صمام.

قاعدة الجهاز صفيحة معدنية (Metal Plate) في وسطها ثقب أو فتحة دائرية.

رمل قياسي معلوم الكثافة، جاف نظيف خال من الشوائب والمواد العضوية، غير متماسك وسهل الانسياب من القارورة.

ميزان حساس بدرجة دقة 1.0 جم.

ميزان بدقة 0.01 جم.

أوعية أو حوافظ لقياس محتوى الرطوبة.

فرن تجفيف، درجة حرارته من 105°C إلى 110°C وأوعية لتحديد محتوى الرطوبة.

أوعية أو أكياس بلاستيكية لجمع التربة الناتجة عن الحفر غير منفذة للرطوبة ومحكمة الغطاء.

أدوات حفر (Digging tools) ، ازميل (chisel) والمطرقة، ملعقة، سكين، مفك، والفرشاة ومنشفة ومفك (screwdriver) وسكين.

شكل رقم (1)، مجموعة من الأدوات الأساسية لإجراء التجربة



خطوات التجربة Testing procedures

أ- خطوات معايرة اجهزة الاخبار بالمعمل:

زن قالب المعايرة (بروكتور) مع قاعدته بحيث يتم تحديد حجمه ووزنه وليكن (W1, V1)
 أملأ القالب بالرمل، مع مراعاة عدم هز القالب أو تحريكه، ثم سوي سطح الرمل، حدد وزن
 القالب والقاعدة والرمل، (W2).
 يوضع الرمل بالقارورة، ويحدد وزنها مع القمع والرمل (W3).

أقلل الصمام وضع القارورة على صفيحة مستوية أو إناء مقلوبة رأساً على عقب، ثم افتح
 الصمام لينساب الرمل من القارورة إلى القمع، عند امتلاء القمع وتوقف الرمل من
 الانسياب، أقلل الصمام، وارفع القارورة والصمام عن الصفيحة وحدد وزن القارورة
 والصمام والرمل المتبقي، (W4).

حدد حجم قارورة المعايرة وكثافة الرمل (Bulk density of sand - γ_b)

ب- خطوات الاختبار بالموقع:

حدد وزن جهاز احلال التربة (sand replacement apparatus) ، وليكن (W5)

املاً القارورة بالرمل ويلحق بها القمع والصمام ويتم تحديد وزنها، وليكن (W6).

3 يتم تنظيف الموقع المراد اختبار الكثافة الحقلية به من أي مواد غير مرغوب فيها وتسويته

جيدا بما يسمح بتثبيت القاعدة المعدنية بشكل مستوي.

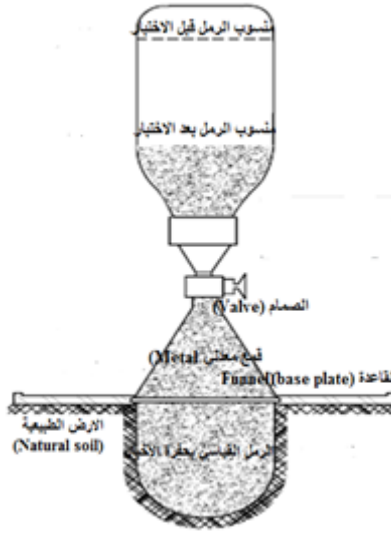


شكل رقم (2) القاعدة المعدنية وحفرة الاختبار

توضع القاعدة المعدنية على مكان الاختبار وتثبت جيدا بواسطة مسامير خاصة بحيث تكون الفتحة الدائرية في وسط القاعدة وملاصقة جيداً لسطح التربة بما لا يسمح بانسياب الرمل خارجها.

5. بعد تثبيت القاعدة المعدنية يتم بعناية ودقة يتم تحديد حفرة الاخبار باستعمال اليد وادوات الحفر بقطر مساوياً لفتحة القاعدة وبعمق مساوياً للطبقة المدموكة، وفي حالة الأرض الطبيعية غالباً ما يكون عمق حفرة الاختبار في حدود 15 سم إلى 20 سم.

ا. يتم جمع وحفظ كل التربة الناتجة من حفرة الاخبار في الوعاء أو الكيس البلاستيكي المعد لذلك، مع مراعاة القفل بإحكام للمحافظة على قوام ومحتوى الرطوبة للتربة الطبيعية، ويتم تحديد وزنها (W10) بعد إخراجها من الحفرة مباشرة.



شكل رقم (3) اخبار الكثافة الحقلية بالموقع

وبعد استكمال حفر الحفرة، يتم وضع وتثبيت جهاز الاختبار (Sand cone apparatus) المملوء بالرمل القياسي مقلوبا على القاعدة المعدنية، ثم يفتح الصمام (الصنبور) ليسمح بانسياب الرمل في الحفرة، وبعد أن يقف انسياب وتملا الحفرة والقمع بالرمل القياسي يتم قفل الصمام.

ت- خطوات تحديد محتوى الرطوبة بالمعمل:

. ترفع مكونات جهاز الاختبار (Sand cone apparatus) ويتم وزنها وما تبقى بها من

الرمل القياسي (W7). من ذلك يمكن تحديد التربة المستخدمة في الموقع.

حدد وزن الرمل القياسي اللازم لملء حفرة الاختبار (W8) = (W7-W6).

حدد وزن التربة التي تم جمعها من حفرة الاختبار، (W9) = (W4-W8) .

بمعرفة كثافة الرمل القياسي (bulk density- γ_{bulk}) حدد وزن التربة الناتجة من الحفرة

وليكن (W10)

خذ عينين على الأقل من التربة الناتجة من الحفرة وحدد محتوى الرطوبة بهما. وعند تحديد محتوى الرطوبة يجب أن يتم ذلك بسرعة حتى لا تفقد التربة قوامها ورطوبتها. ويمكن استخدام كامل التربة الناتجة من الحفرة لتحديد المحتوى المائي.

الحسابات: Calculations

(1) المعادلات المستخدمة:

1. تحديد حجم القارورة (V_1) (سم³) (cm³)

2. حساب الكثافة الظاهرية للرمل (Bulk density of sand):

$$\gamma_{bulk} = \frac{W}{V_1} \quad (\text{gm/cm}^3) \quad [1]^3$$

حيث:

W = وزن الرمل المطلوب لملء القارورة جم/سم³ (gm/cm³)

V_1 = حجم الماء المطلوب لملء القارورة سم³ (cm³)

3. حساب الكثافة الموقعية (Field density):

$$V = \frac{W_2 - W_1}{\gamma_{sand}} \quad [2](\text{cm}^3)$$

$$\gamma_b = \frac{W_1}{V} \quad (\text{kg/cm}^3) \quad [3]^3$$

حيث:

V = حجم حفرة الاختبار أو حجم التربة المحفورة سم³ (cm³)

W_2 = وزن التربة اللازمة لملء حفرة الاختبار والقمع كجم (kg)

W_3 = وزن الرمل اللازم لملء القمع كجم (kg)

W_3 = وزن التربة المحفورة من حفرة الاختبار كجم (kg)

4. حساب كثافة التربة الطبيعية (Natural soil) الناتجة من الحفرة :

$$Density\ of\ soil = \gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + \frac{w}{100}} \quad (kg/cm^3) \quad [4]$$

5. وزن الرمل اللازم لملء الحفرة (W9) :

$$W9 = (W8 - W4) \quad (gm) \quad [5]$$

6. حجم التربة التي تم اخراجها من الحفرة:

$$(V2) = \frac{W9}{\gamma_{bulk}} \quad (cm^3) \quad [6]$$

7. الكثافة الحقلية للتربة :

$$\gamma_{field} = \frac{W10}{V2} \quad (kg/cm^3) \quad [7]$$

8. المحتوى المائي للتربة :

$$Water\ content\ (\%) = \frac{(B-C)}{(C-A)} \times 100 \quad (\%) \quad [8]$$

9. تحديد الكثافة الجافة للتربة:

بمعلومية الكثافة الحقلية للتربة (γ_{field}) والمحتوى المائي للتربة (w) يتم ايجاد الكثافة

الجافة للتربة γ_{dry} بتطبيق القانون الاتي:

[9]³)

$$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{field}}{(1 + \frac{w}{100})} \text{ (kg/ cm)}$$

2) معايرة ادوات الاخبار

جدول رقم (1) بيانات معايرة الاجهزة

رقم العملية: ----- التاريخ: -----

المشروع: ----- موقع المشروع: -----

رقم الجسة: ----- عمق العينة: -----

رقم العينة: ----- وصف التربة: -----

اسم الفاحص: -----

3	2	1	الوحدة	الجهاز أو العنصر
			جم	وزن قارورة المعايرة
			سم ³	حجم قارورة المعايرة
			جم	وزن القارورة والرمل
			جم	وزن الرمل بالقارورة
			جم	وزن الرمل لملء المخروط
			جم / سم ³	الكثافة الظاهرة (γ_b) للرمل القياسي

3) تحديد الكثافة الحقلية:

جدول رقم (2) تحديد الكثافة للتربة الحقلية

رقم العملية: ----- التاريخ: -----

المشروع: ----- موقع المشروع: -----

رقم الجسة: ----- عمق العينة: -----

رقم العينة: ----- وصف التربة: -----

اسم الفاحص: -----

3	2	1	الوحدة	الجهاز أو العنصر
			جم	وزن جهاز الاخبار فارغ (W5)
			جم	وزن جهاز الاخبار مع الرمل (W6)
			جم	وزن جهاز الاخبار+ الرمل بعد اجراء التجربة (W7)
			جم	وزن التربة المستخدمة في الاخبار (W8)
			جم	وزن التربة المستخدمة لملء الحفرة - (W8) = W9 W4)
			جم	وزن التربة الناتجة من الحفرة (W10)
			سم ³	حجم التربة الناتجة من الحفرة (V2)
			جم / سم ³	الكثافة الحقلية للتربة (γ_{field})
			%	المحتوى المائي للتربة (w)
			جم / سم ³	الكثافة الجافة للتربة الحقلية) (γ_{dry}

4) تحديد المحتوى المائي للتربة:

جدول رقم (3) المحتوى المائي للتربة الحقلية

رقم العملية:----- التاريخ:-----

المشروع:----- موقع المشروع:-----

رقم الجسة:----- عمق العينة:-----

رقم العينة:----- وصف التربة:-----

اسم الفاحص:-----

رقم العينة			العنصر
3	2	1	
			وزن العلبة فارغة (A) (جم).
			وزن العلبة والتربة الرطبة (B) (جم).
			وزن العلبة والتربة الجافة (C) (جم).
			وزن الماء (B-C) = (W4) (جم).
			وزن التربة الجافة (C-A) (جم)
			المحتوى المائي % $100 \times \frac{(B-C)}{(C-A)} = (w)$
			متوسط المحتوى المائي

التقرير: Report

بعد استكمال التجربة وتدوين النتائج والحسابات في الجداول المعدة لذلك، يتم إعداد التقرير

فني عن التجربة ويجب أن يحتوي على الآتي:

اسم المشروع وموقعه، واسم المشروع وموقعه. وموقع الجسة، ورقم العينة

مصدر العينات المستخدمة

اسم المختبر (الفاحص)

طريقة تحضير واختبار العينة إن كانت جافة أو رطبة.

نوع الطريقة المستخدمة وآلية دمكها يدويا أو ميكانيكيا.

وصف التربة المستخدمة وتصنيفها.

رسم المنحنيات البيانية للتجربة

تحديد الكثافة الجافة القصوى، والمحتوى المائي الأمثل المتحصل عليه.

ذكر أي تغيير أو تعديل في شروط التجربة وأي ملاحظات خلال اجراء التجربة.

. تدوين اي تعديل او ملاحظات خلال اجراء التجربة.

$$(i=\frac{h}{L})$$

$$Q=k.A\frac{h}{L}$$

$$k=\frac{QL}{Ath}$$

$$\text{cm}^3)$$

(cm)

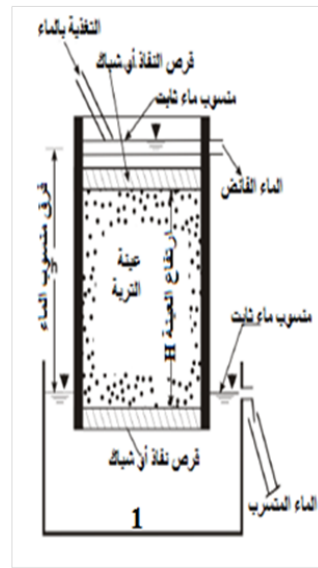
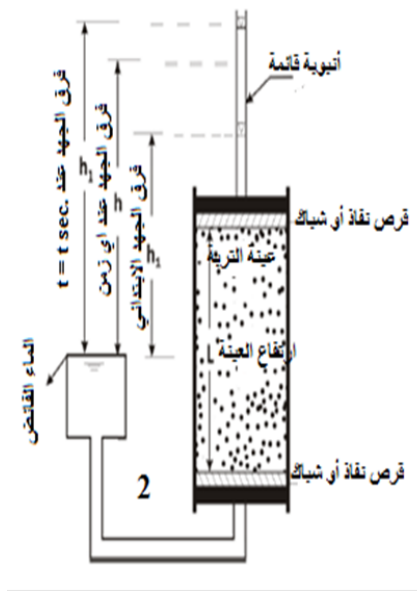
(cm²)

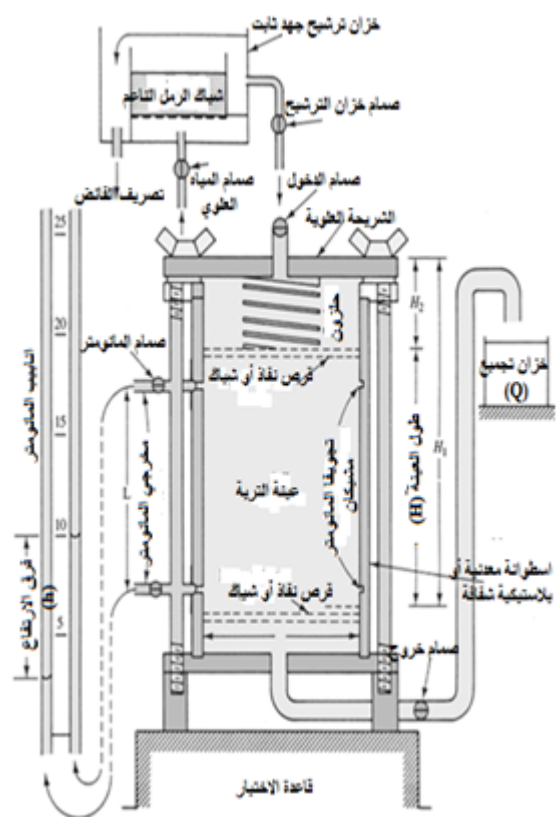
(sec.)

•

•

•





$$v = \frac{Q}{At}$$

$$i = \frac{h}{L}$$

$$\frac{h}{L}$$

$$k = \frac{QL}{Ath}$$

$(cm/sec.)$	سم/ثانية	$K =$ معامل النفاذية
cm^3	سم ³	$Q =$ كمية المياه المتسربة
(cm)		L
(cm^2)		
$(sec.)$	ثانية	$t =$ الزمن الكلي لتسيب المياه

$$e=\frac{G_s\rho_w}{\gamma_{dry}}$$

■

$$\left(\frac{W2-W1}{\frac{\pi}{4}D^2H}\right)\quad \gamma_{dry})$$

$$G_s$$

$$\rho_w = \text{كثافة الماء} \quad \text{جم / سم}^3 \quad (gm/cm3)$$

$$(W2-W1)$$

$$20C^0 \qquad (k)$$

$$(k)$$

$$20C^0$$

$$K_{20^{\circ}C}=K_{T^{\circ}C}\frac{\mu_{T^{\circ}C}}{\mu_{20^{\circ}C}} \qquad (k)$$

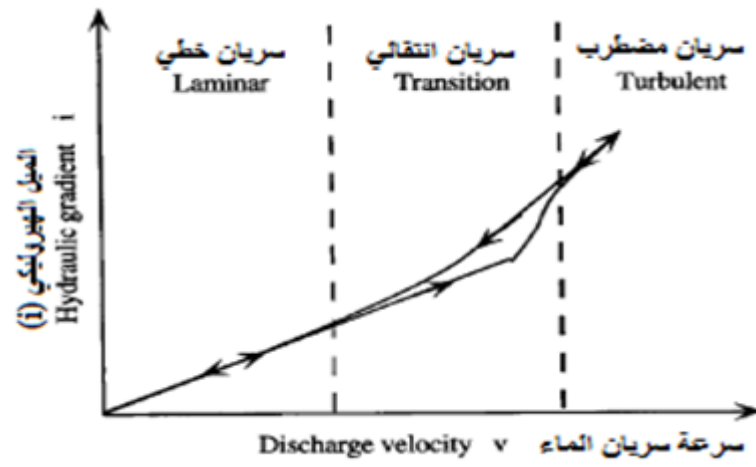
$$(cm/sec) \qquad K$$

$$\mu$$

μ_2

	$V = \frac{\pi}{4} D^2 H \text{ (cm}^3\text{)}$
	G_s
	$W1$
	γ_{dry} $\gamma_{dry} = \frac{W2 - W1}{V} \text{ (gm/cm}^3\text{)}$
	$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_{dry}} - 1$

[illegible]



$$\left(\frac{h}{L}\right)$$

$$\left(\frac{Q}{At}\right)$$

$$\left(\frac{h}{L}\right)$$

$$\left(\frac{Q}{At}\right)$$

$$(E_u)$$

$$(\sigma_3 = 0)$$

$$(c \ \& \ \emptyset)$$

$$(\tau)$$

$$\tau = C + \sigma \tan \emptyset$$

$$\tau$$

$$C$$

$$\emptyset$$



—

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\text{التغير في طول العينة}}{\text{الطول الابتدائي للعينة}}$$

$$axial\ strain = \frac{length\ change\ of\ specimen}{initial\ length\ of\ specimen}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$= \epsilon$$

$$l$$

$$\Delta l$$

قراءة حلقة المعايرة × المعايرة ثابت

$$\frac{\text{مساحة المقطع الابتدائية}}{(1-\text{الاجهاد الراسي المطبق})}$$

$$\text{average cross – sectional area} = \frac{\text{initial cross – sectional area}}{(1 - \text{axial strain for given loading})}$$

$$A_f = \frac{A_i}{1 - \epsilon}$$

$$A_f$$

$$A_i$$

$$\frac{(N) \times 1000}{(m^2)} \quad (\sigma)$$

$$\text{compressive stress (kPa)} = \frac{1000 \times \text{given applied load (N)}}{\text{average cross sectional area (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = \frac{\text{Load}}{A_f}$$

[illegible]

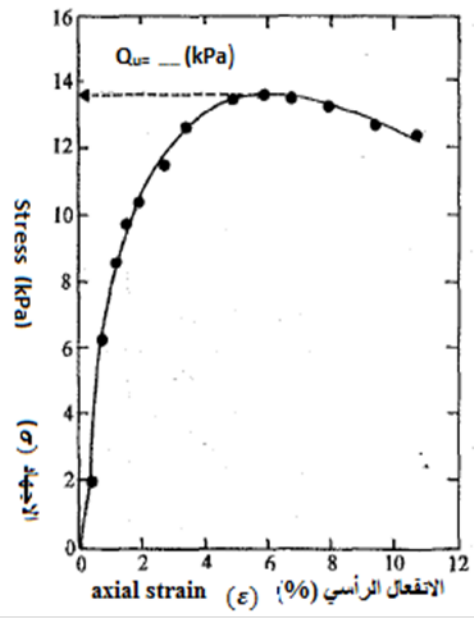
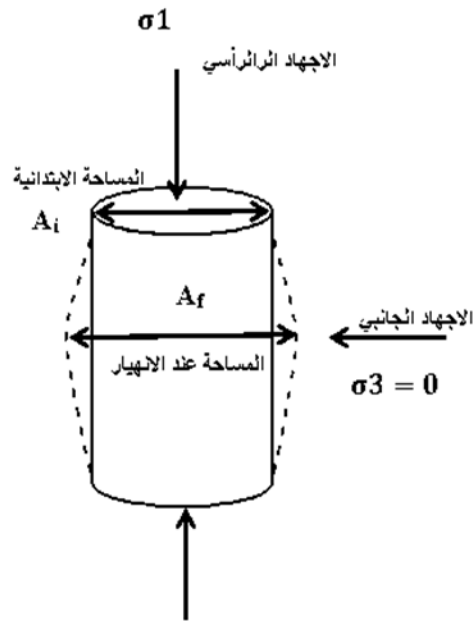


[4] $\text{Soil sensitivity} = \frac{q_{u(\text{undisturbed})}}{q_{u(\text{remold})}} = (S_s)$ حساسية التربة

$q_u (\text{undisturbed})$

$q_u (\text{remold})$





60 مم × 60 مم

(P_h)

(P_v)



τ)

•

•

•



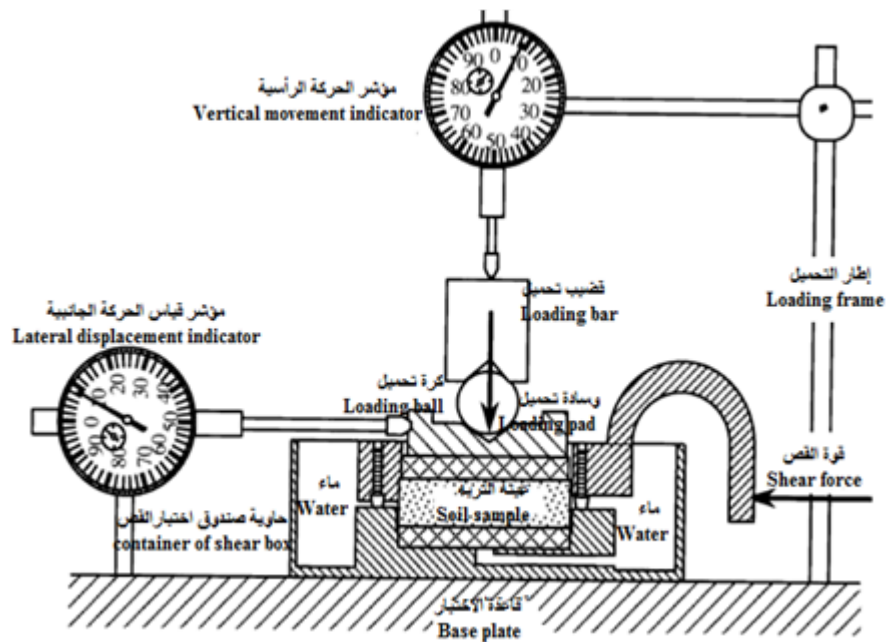
مسطرة تقويم مستقيمة



سكينة تسوية معجون



القلمة ذات الورنية



$$P_v$$

$$(\sigma_n)$$

$$\bullet$$

$$P_h$$

$$\tau)$$

$$\bullet$$

$$\sigma_n=\frac{P_v}{A}$$

$$\tau=\frac{P_h}{A}$$

$$\tau = c + \sigma_n \tan \emptyset$$

c

σ_n

τ

\emptyset

$(c \ \& \ \emptyset)$

(τ)

(σ_n)

$$A=A_0\times(1-\frac{\delta}{3})$$

\times

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{P_h}{A}$$

(τ)		(Div.)		(δ)	(Div.)	(σ)	

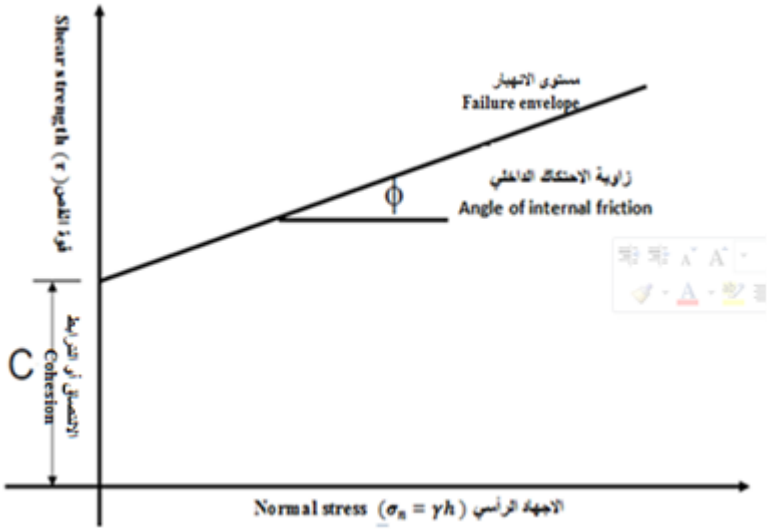
					(σ)		

					(τ)

•

(τ)

(σ)

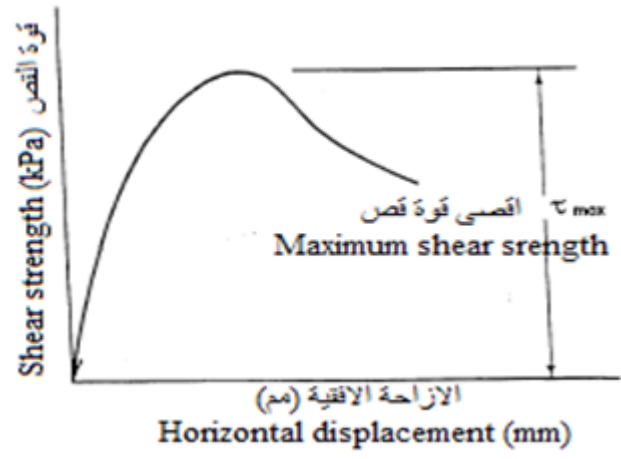


(δ)

(τ)

(σ)

(kPa)



\emptyset

(τ)

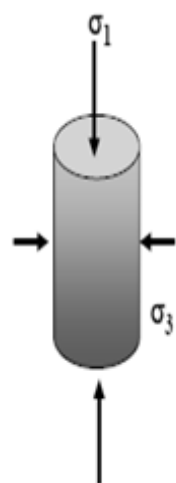
(ε)

(S)

C_u		
$\emptyset = \mathbf{0}$		
\emptyset		
\emptyset		

C_u

\emptyset

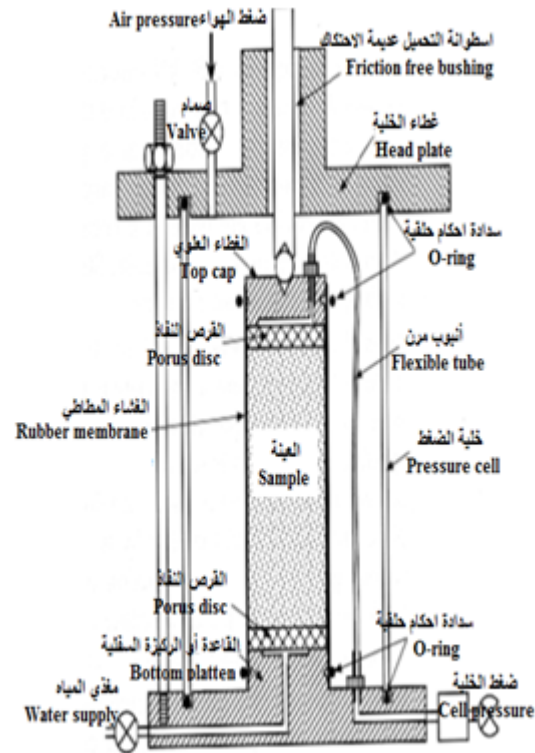


%1 ±

$\pm 2\text{kPa}$

200kPa

200kPa



$$(\Delta V/V)/\Delta U < 3.2 \times 10^{-6}$$

$$\Delta V$$

$$V$$

$$(\text{kPa})$$

$$= \Delta U$$

$$\%0.05 \pm$$

$$10^{-4} \times 1$$

$$10^{-5} \times 1$$

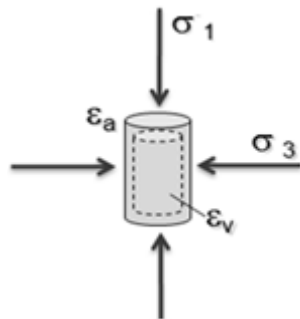
±

$$4 \pm$$

(σ_3)

(σ_3)

(σ_3)



(τ)

(σ)

(ϕ)

$$\frac{\pi}{4}D_0^2\qquad (A_0$$

$$A_0\times L_0=(V_0)=$$

$$=(V_c(V_0-\Delta V)$$

$$L_0^3\sqrt{\frac{V_c}{V_0}}=(L_c)$$

$$A_0^{2/3}\sqrt{\frac{V_c}{V_0}}=(A_c)$$

$$\frac{\Delta L}{L_c}\quad \varepsilon)$$

$$\frac{A_c}{1-\varepsilon}$$

$$\frac{P}{A}\quad \Delta\sigma)$$

$$\bar{A}=\frac{\Delta U}{\Delta\sigma}\quad (\bar{A}$$



	(w)
	(L_0)
	(D_0)
	$(\frac{\pi}{4} D_0^2) (A_0)$
cm^3	$A_0 \times L_0 = (V_0) =$
392 kN/m^2	(σ_3)
11.6 cm^2	(ΔV)
$76.20 - 11.6 = 64.6 \text{ cm}^3$	$(V_0 - \Delta V) = V_c$
$7.62^{1/3} \sqrt[3]{\frac{64.6}{76.2}} = 7.212 \text{ cm}$	$(L_c) = L_0^3 \sqrt[3]{\frac{V_c}{V_0}} = (L_c)$
	$(A_c) = A_0^{2/3} \sqrt[3]{\frac{V_c}{V_0}} = (A_c)$

$$\varepsilon \quad \Delta \sigma \quad \bullet$$

$$\varepsilon \quad \Delta \quad \bullet$$

$$\varepsilon \quad \bar{A} \quad \cdot$$

معامِل ضغط الماء المسامي $\bar{A} = \frac{\Delta U}{\Delta \sigma}$ (-)	فائض الضغط المسامي ΔU (kN/m ²)	الاجهاد $\Delta \sigma = \frac{P}{A}$ (kN/m ²)	تصحيح المساحة $A = \frac{A_c}{1 - \varepsilon}$ (cm ²)	الحمل على اسطوانة التحميل (N)	قراءة الحلقة عدد لتقسيم الصغير (N0.)	الاجهاد الرأسي $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_c}$ (-)	تشوه العينة Δl (cm)	No.
8	7	6	5	4	3	2	1	
0	0	0	8.96	0	0	.	.	1
0.164	2.94	17.9	8.98	16.07	15	0.0021	0.015	2
0.378	49.5	129.6	9.01	116.77	109	0.0053	0.038	3
0.466	74.56	159.99	9.04	144.63	135	0.0085	0.061	4
0.514	89.27	173.82	9.06	157.48	147	0.0105	0.076	5
0.553	111.83	202.26	9.11	184.26	172	0.0158	0.114	6
0.602	135.38	224.80	9.15	205.69	192	0.0211	0.152	7
.,٦٢٠	١٤٨,١٣	٢٣٨,٩٨	٩,١٩	٢١٩,٦٢	٢٠٥	.,٠٢٥٤	0.183	٨
.,٦١٨	١٦٠,٨٨	٢٦٠,٥٨	٩,٢٥	٢٤١,٠٤	٢٢٥	.,٠٣١٨	0.229	٩
.,٦١٨	١٦٧,٧٥	٢٧١,٥٧	٩,٣١	٢٥٢,٨٣	٢٣٦	.,٠٣٨٠	.,٢٧٤	١٠
.,٦٢٢	١٧٥,٦٠	٢٨٢,٤٠	٩,٣٧	٢٦٤,٦١	٢٤٧	.,٠٤٣٧	.,٣١٥	١١
.,٥٩٢	١٧٦,٥٨	٢٩٨,٢٠	٩,٥٢	٢٨٣,٨٩	٢٦٥	.,٠٥٩٢	.,٤٢٧	١٢
.,٥٩٤	١٧٦,٥٨	٣٠٢,٢٥	٩,٥٧	٢٨٩,٢٥	٢٧٠	.,٠٦٣٤	.,٤٥٧	١٣
.,٥٨٤	١٧٦,٥٨	٣٠٩,٢٦	٩,٦٣	٢٩٧,٨٢	٢٧٨	.,٠٦٩٧	.,٥٠٣	١٤
.,٥٧٠	١٧٦,٥٨	٣١٣,٦٦	٩,٧٠	٣٠٤,٨٥	٢٨٤	.,٠٧٦١	.,٥٤٩	١٥
.,٥٦٣	١٧٦,٥٨	٣١٥,٠٢	٩,٧٦	٣٠٧,٤٦	٢٨٧	.,٠٨٢٤	.,٥٩٤	١٦
.,٥٦١	١٧٦,٥٧	٣١٣,٢٣	٩,٨٥	٣٠٨,٥٣	٢٨٨	.,٠٩٠٥	.,٦٥٣	١٧
0.523	160.88	307.62	9.96	306.39	286	0.1007	.,٧٢٦	١٨
0.565	163.82	287.97	10.16	294.61	275	0.183	0.853	١٩

($\Delta\sigma$)

(Δu)

($Y - axis$)

(\bar{A})

($X - axis$)

($\varepsilon \%$)

($\Delta\sigma_f$)

($\Delta\sigma$)

(ε)

($\Delta\sigma$)

($\bar{A} = \bar{A}_f$)

($\Delta u = \Delta u_f$)

(ε)

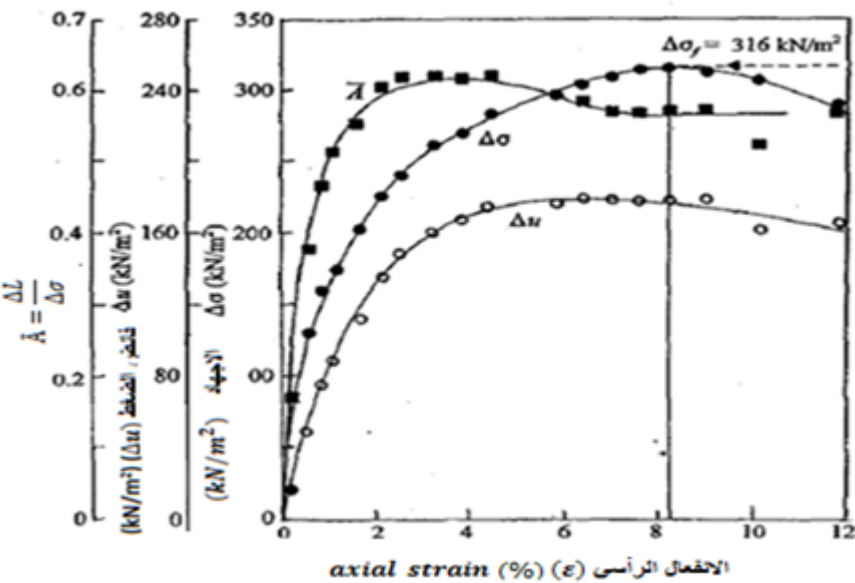
(ε)

($\Delta\sigma_f = 316 \text{ kN/m}^2$)

$m^2)(177$

(Δu_f)

(\bar{A}_f)



(ε)

($\Delta\sigma, \Delta u, \& \bar{A}$)

(σ_3)

(σ_1)

$= (\sigma_3 + \Delta\sigma_f) - \Delta u_f$

(σ'_1)

$$53 = 177 - (316 + 392) (\sigma'_1) \text{ كيلو نيوتن / م}^2$$

$$\sigma_3 - \Delta u_f \quad (\sigma'_3)$$

$$215 = (\sigma'_3) = 177 - 392$$

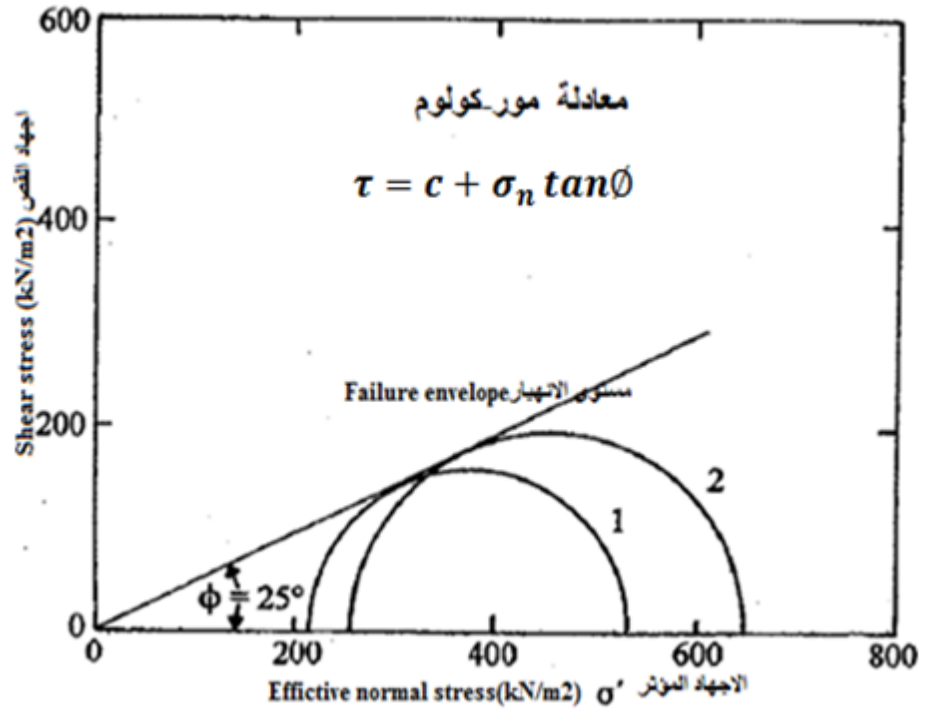
$$(\sigma'_1 \text{ \& } \sigma'_3)$$

$$\tau = C + \sigma' \tan \emptyset$$

$$(C \text{ \& } \emptyset)$$

$$\emptyset$$

$$\tau = \sigma' \tan 25^{\circ}$$



$$(C, \emptyset \& \tau)$$



(1.27 mm/minte)

±

	> 50	

$2124 \pm 25\text{m}^3$)

$(177.8 \pm 0.46 \text{ mm})$

$(152.4 \pm 0.66 \text{ mm})$

(50.8 mm)

$\pm 0.127 \text{ mm}$

$(2.27 \pm 0.02 \text{ kg})$

$4.54 \pm 0.02 \text{ kg}$

$\pm 5 \text{ C}^0$

$$(49.63 \pm 0.13\text{mm})$$

$$(\text{No.4}) \qquad (\frac{3}{4} \text{ in })$$

$$(25.4 \pm 0.1 \text{ mm})$$

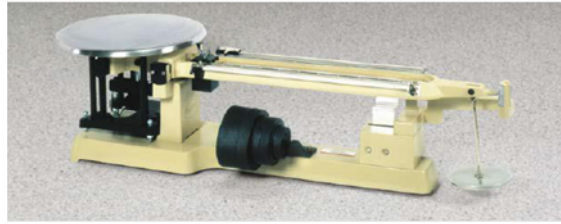
$$\frac{3}{4}$$

$$\frac{3}{4}$$

$$\frac{3}{4}$$



الشكل 2.13.1 - جهاز قياس الانضغاط

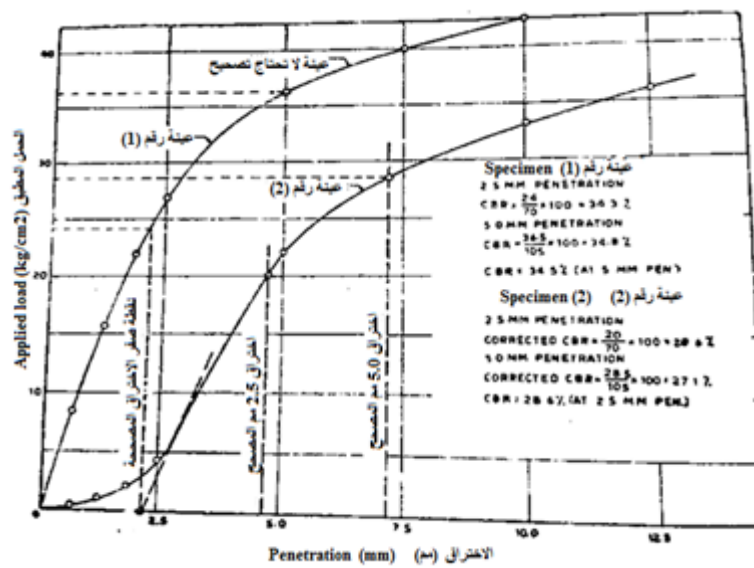


$.5 \pm$

± 0.05

$$100 \times \frac{\text{الضغط المكافئ لاختراق العينة 2.5 مم}}{\text{الضغط المكافئ لاختراق العينة القياسية 2.5 مم}}$$

$$100 \times \frac{\text{الضغط المكافئ لاختراق العينة 5.0 مم}}{\text{الضغط المكافئ لاختراق العينة القياسية 5.0 مم}}$$



$$(Y_{\mathrm{dry}}$$

$$\bullet$$

$$\gamma_{dry}=\frac{w_{sas}}{V_m}$$

$$W_{sac}=\frac{W_{m+ws}-W_m}{(1+w_{ac})}$$

$$W_{sac}$$

$$W_{m+ws}$$

$$W_m$$

$$w_{ac}$$

$$V_m$$

$$\gamma_{dry}=\gamma_{dry}\times 9.8066$$

$$\gamma_{\mathrm{dry}}$$

$$S=\frac{s}{h1}\times 100$$

s

S

$h1$

